LIBRARY

MAR - 6 1995

National Marine Fisheries Service
2570 Dole Street
Honolulu, Hawaii

海洋開発及地球科学技術調査研究促進費

地球科学技術特定調査研究

アジアモンスーン機構に関する研究

JAPANESE EXPERIMENT ON ASIAN MONSOON (JEXAM)

（平成元年～平成10年）
（ＦＹ1989～ＦＹ1998）

平成５年度　成果報告書
ANNUAL REPORT
(APRIL 1993～MARCH 1994)

平成６年８月
August 1994

科学技術庁研究開発局
Research and Development Bureau
Science and Technology Agency
Japan

はじめに

大規模な季節変動として知られているアジアモンスーンは、インド洋・東南アジア周辺の海洋とチベット・ヒマラヤを始めとしたアジア大陸の地表面が、大気を媒体として熱・水蒸気等の交換により、相互に影響を及ぼし合っている現象です。その活動の年々変動は、東南アジア地域や、日本を始めとした周辺地域の気候のみならず、大気大循環を介して世界の気候に大きな影響を与えています。また最近、アジアモンスーンの活動が西部熱帯太平洋域の大気・海洋変動を引起こし、これが太平洋規模で発生するエル・ニーニョ／南方振動の引き金になっている可能性があるという指摘もあり、この点からも注目されています。しかし、これらの地域・海域は広大であり、また観測環境が厳しいこと等から観測体制が整備が遅れており、気象・海象・陸象に関するデータの収集は必ずしも十分に行われていませんでした。

このため科学技術庁では、海洋開発及地球科学技術調査研究促進費により「アジアモンスーン機構に関する研究」を平成元年度より開始し、観測・解析を進めてきました。平成５年１月１１日には、「『アジアモンスーン機構に関する研究』プロジェクトに関する日本国科学技術庁と中華人民共和国国家気象局との間の実施取極」が結ばれ、日中の協力体制も整ったと言えましょう。

本報告書は、平成５年度に行った研究の成果を取りまとめたものです。今回得られた成果の概略は以下の通りです。

(1) 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

・インド洋における公庁船・商船・漁船・漂流ブイを用いた海洋・海上気象観測・解析が継続された。その結果、インド洋東部熱帯海域の水温と太平洋のＥＮＳＯシグナルの関係、中層深層の塩分極大層の形成等が明らかになった。

・チベット地域に４台のＡＷＳが設置され、自動気象観測が開始された。

・ＩＮＳＡＴ—ＧＭＳ結合データを用いた大規模雲域の時空間構造解析から、20日程度の振動が新たに見出された。

・ＡＶＨＲＲデータから積雪分布を検出する手法の改善を図った。

(2) 数値モデルによる実験研究

・流出量サブモデルの適用範囲をアジアモンスーン地域全体へ適用するための検証と改良に着手した。

・海陸分布を単純化した低分解能モデルを用いて実験を行った結果、亜熱帯高気圧循環は、熱帯対流雲活動にある程度影響を受けるものの、基本的には、中高緯度の海洋と大陸間の熱的な性質の差による東西方向の気温傾度と西風によって駆動されていることがわかった。

・チベット高原域の積雪量が多い時は、チベット高気圧循環が弱いことがモデルの計算により示された。

本研究の成果が、アジアモンスーン機構の解明に寄与し、さらには気候変動に対する理解を深めることを期待しています。

最後になりましたが、本研究に携わられた関係各位に対し感謝するとともに、今後とも御協力をお願いする次第です。

平成６年８月

科学技術庁研究開発局長
沖　村　憲　樹

LIBRARY
MAR - 6 1995
National Marine Fisheries Service
2570 Dole Street
Honolulu, Hawaii

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/annual-report-japanese-experiment-on-asian-monsoon-jexam_1994-08

目　次

Contents

Ⅰ．研究計画の概要

Outline of the Study Plan

1.研究の趣旨 …… 3

General Introduction

2.研究の概要 …… 3

Outline of the Study

3.研究実施体制 …… 8

Research Items and Institutes

4.研究検討委員会 …… 10

Research Steering Committee

Ⅱ．研究成果報告

Result of the Study

1.大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(1) 海洋に関する観測研究

Observational Study on the Indian Ocean

① 表層水温に関する観測研究 …… 15

Observation on Sub-Surface Temperature by Voluntary Ship

② 海流循環に関する観測研究 …… 33

Observation on Oceanic Current with Drifting Buoys

③ 海洋データの標準化及び海洋データ交換の推進 …… 41

Standardization of Oceanic Data and Promotion of Exchange of Oceanic Data and Information

(2) 大気・陸面に関する観測研究

Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions

① 広域エネルギー収支に関する観測研究 …… 47

Observation on Regional Surface Heat Budget

② チベット・ヒマラヤにおける水文変動に関する観測研究 …… 69

Observation on Hydrology over the Tibetan Plateau and Himalayas

③ 大規模雲域内における対流雲構造に関する観測研究 …… 77
Observation of Structure of Convective Cloud in the Large-scale Cloud Systems
(3) 衛星データの解析研究
Analysis of Satellite data
① モンスーン循環広域条件及び雪氷変動状況に関する解析研究 …… 93
Analysis on Environmental Conditions and Snow-Ice Cover Changes Affecting to Monsoon Cycle in Asia
② 大規模大気・海洋変動に関する解析研究 …… 99
Analysis of Large-Scale Atmoaphere/Ocean Variations
③ 地球放射収支に関する解析研究 …… 107
Analysis of Earth Radiation Budget in Relation to Asian Monsoon
(4) 地域水収支に関する解析研究 …… 115
Analysis of Water Balance for Representative River Basins in Asia
(5) 大気・海洋・陸面間の相互作用に関する解析研究
Analysis of Air-Sea-Land Interactions
① モンスーン降水系の解析 …… 121
Analysis of Precipitation Systems in Asian Monsoon Region
② モンスーン循環系の総合的解析 …… 131
Comprehensive Analysis of Asian Monsoon Circulation System

2.数値モデルによる実験研究
Theoretical/Experimental Study by Numerical Simulations
(1) 広域水収支モデルの開発に関する研究 …… 137
Numerical Study on Regional Water Balance Model in Asia
(2) 季節内変動とアジアモンスーンの関連に関する実験研究 …… 147
Numertical Study concerning Relationship between the Intraseasonal Oscillations in the Tropics and the Asian Monsoon Phenomena
(3) 大規模モデルによる大気・海洋・陸面間の相互作用に関する実験研究 …… 159
Numerical Study on Air-Sea-Land Interactions in a Monsoon by GCM

Ⅲ. 観測・解析研究ディレクトリー …… 165
Directory of Observation/Analysis Data Set

Ⅰ．研究計画の概要

Outline of the Study

Ⅰ．研究計画の概要

1.研究の趣旨

アジアモンスーンは、インド洋・東南アジア周辺の海洋とチベット・ヒマラヤを始めとしたアジア大陸の地表面が、その熱的特性の相違により大気を媒体とした熱・水蒸気等の交換を通じて、それぞれ相互に影響を及ぼし合う結果、東南アジア・東アジア地域における季節的な現象として発現している。その活動の年次の変動は、東南アジア地域や、日本を始めとした周辺地域の気候の変動に大きな影響を及ぼすばかりでなく、大気大循環変動を介して世界の気候にも大きな影響を与えている。また最近、アジアモンスーンの活動の異常は西部熱帯太平洋域の大気・海洋変動を引き起こし、これが太平洋規模で発生するエル・ニーニョ／南方振動の引き金となっている可能性があるという研究報告もあり、この点からも注目する必要がある。しかしながら、これらの地域・海域は、対象域の広大さや観測環境の厳しさ等から観測体制が整備されておらず、気象・海象・陸象の基本的な要素に係るデータの収集が必ずしも十分に行なわれているとは言えない。

従って、アジアの一員であり、アジアモンスーンの直接的影響を受け、大気・海洋観測の十分なポテンシャルを有する我が国が、世界の気候を形成する複雑なシステムの一つであるアジアモンスーンの機構を解明するため長期的・総合的な研究を実施することが緊要となっている。本研究を実施することにより、我が国を含むアジア地域における旱ばつや長雨といった異常気象発現の予測技術のみならず、世界的規模の気候変動を予測する技術の発展に寄与することが期待される。

本研究は、以上の様な状況を踏まえて、

(1) 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測的研究

(2) 数値モデルによる実験的研究

を行なう。

2.研究の概要

(1) 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析的研究

1) 海洋に関する観測的研究

・東南アジア域及びインド洋を航行する公庁船、商船及び漁船により海洋表層水温の通年観測を行なう。

・インド洋に漂流ブイを放流し、大規模海流循環の通年観測を行なう。

・上記で取得した海洋データの標準化、データベース化を促進する。またインド洋観測情報交換システムを構築し、取得データを交換する。

2) 大気・陸面に関する観測的研究

・商船委託によりインド洋から東南アジア周辺に至る海域での海上気象・高層気象観測及びウインドプロファイラーにより下層大気の観測を行い、大気・海洋間のエネルギー収支を見積もる。

・チベット地域における気象状態及び陸面状態の観測を行ない、大気・陸面間のエネルギー収支を見積もる。

・海洋・大気間の熱収支に係わる熱帯域大規模対流雲の構造をドップラーレーダー等により3次元的に観測する。

3) 衛星データの解析的研究

・極軌道地球観測衛星資料をデータベース化し、広域的な水文変動に係る大気・海洋・陸面状態の解析を行なう。

・日本とインドの静止気象衛星資料をデータベース化し、大規模雲域変動等の解析を行なう。

・極軌道気象衛星資料をデータベース化し、モンスーン変動が地球放射収支に及ぼす影響を解明する。

4) 地域水収支に関する解析的研究

・中国・日本等の代表流域の水文・気象データを収集し、水収支解析を行う。

5) 大気・海洋・陸面間の相互作用に関する解析的研究

・①～④で取得されたデータ及び当該地域で定常的に入手できるデータを標準化し総合的に利用する方法を開発する。

・上記のデータにもとづき、モンスーン循環系を総合的に解析する。

(2) 数値モデルによる実験的研究

1) 広域水収支モデルの開発に関する研究

・チベット、インドから東南アジアに至る地域を中心として、熱エネルギーの輸送に大きく係わる広域水収支を定量的に把握するためのモデルを開発する。

2) 季節内変動とアジアモンスーンの関連に関する実験的研究

・熱帯における30～60日周期の季節内変動がアジアモンスーンに及ぼす機構について数値モデルを用いた実験を行なう。

3) 大規模モデルによる大気・海洋・陸面間の相互作用に関する実験的研究

・大気・陸面状態の長周期変動に対する海洋変動の影響を解明するため、大気大循環モデルや大気・海洋結合モデルを用いた数値実験を行なう。

I .Outline of the Study Plan

1.General Introduction

Asian Monsoon is caused by the thermal contrast between the Indian Ocean and surrounding oceans, and the land surface of Asian Continent. These two land and ocean areas interact with each other through the exchange of the heat and moisture. Its consequence is observed as a seasonal phenomenon in the regions of Southeast Asia and East Asia, including Japan.

The year-to-year variation of the Asian Monsoon has a significant influence not only on the climate through the global atmospheric circulations. Furthermore, it is recently reported that the anomalous activities of the atmospheric/oceanic variations over the tropical western Pacific which, in turn, trigger the El Nino/Southern Oscillation events over the whole Pacific Ocean.

Through it is recognized that Asian Monsoon plays an important role in the global climate system, its mechanism has not yet been made clear. This is mainly attributable to the fact that the atmospheric and oceanographic data are sparse over those regions due to the technical difficulties in the observations and the insufficiencies of conventional observation network.

Japan, as a member of the Asian countries, is situated under the direct influence of the Asian monsoon and has a capability to conduct the atmospheric and oceanographic observations. Therefore, it is an important role of Japan to carry out the research projects for the study on Asian Monsoon in cooperation with the countries such as China and India.

This project is expected to make a contribution for the improvement of the long-range forecast of the global climate change as well as the forecasting technique of the unusual weather, such as drought and long spell of rain.

Based on the understandings as mentioned above, Science and Technology Agency (STA) of Japan has launched this ten-year research project since April 1989 on following items;

(1) Study on the air-sea-land interactions and their long-term variations.

(2) Experiment by the use of numerical models

2. Outline of the Study

(1) Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

1) Observational Study on the Indian Ocean

- To observe sub-surface temperature throughout the year by voluntary, official, commercial and fishing ships over the Southeast Asia and the Indian Ocean.
- To observe large-scale oceanic current throughout the year by drifting buoys over the Indian Ocean.
- To standardize and construct a database of the oceanic data and promote a data exchange. To construct an information exchange system concerning to the observation in the Indian Ocean.

2) Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions

- To promote a maritime meteorological observation by voluntary commercial ships and estimate an energy budget of the atmosphere-ocean interaction.
- To observe weather and land surface conditions over the Tibetan area and estimate an energy budget of the atmosphere-land interaction.
- To observe three-dimensional structures of the tropical convective clouds related to the heat budget of the atmosphere-ocean interaction by wind profiler and Doppler radar.

3) Analysis of Satellite Data

- To construct a database of the polar orbiting earth observation satellites and make an analysis of the atmosphere-ocean-land situations related to the large scale hydrological variations.
- To construct a database of the Japanese and Indian satellites and make an analysis of the large-scale cloudiness changes.
- To construct a database of Earth radiation budget through the polar orbiting meteorological satellites and make an analysis of an effect of the monsoon variation.

4) Analysis of Water Balance for Representative River Basins in Asia

- To collect daily hydro-meteorological data over the Yangtze River basin and make an analysis of the long-term variations.

5) Analysis of Air-Sea-Land Interactions

- To standardize the data obtained by the experimental and routine observations and develop their general utilization.

- To make a comprehensive analysis of the monsoon circulation by the use of the standardized data.

(2) Theoretical/Experimental Study by Numerical Simulations

1) Numerical Study on Regional Water Balance Model in Asia

- To develop numerical models for the investigation of the large-scale hydrological budget over the Tibet, India and Southeast Asia related to the heat transport.

2) Numerical Study concerning Relationship between the Intraseasonal Oscillations in the Tropics and the Asian Monsoon Phenomena

- To perform numerical experiments of the effect of intraseasonal 30-60 day variation on Asian monsoon.

3) Numerical Study on Air-Sea-Land Interactions in a Monsoon by GCM

- To perform numerical experiments by the atmosphere-ocean coupled model for the investigation of the effects of oceanic conditions on the long-term variation of the atmosphere-land condition.

3. 研究実施体制

Research Items and Institutes

研　究　項　目 Research Items	担　当　機　関 Research Institutes
I　大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究 Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations	
1. 海洋に関する観測研究 Observational Study on the Indian Ocean	
(1) 表層水温に関する観測研究 Observation on Sub-Surface Temperature by Voluntary Ship	水産庁　遠洋水産研究所 Far Seas Fisheries Research Laboratory, Fisheries Agency 気象庁　海洋気象部 Marine Department, Japan Meteorological Agency(JMA)
(2) 海流循環に関する観測研究 Observation on Oceanic Current with Drifting Buoys	海上保安庁　水路部 Hydrographic Department, Maritime Safety Agency(MSA)
(3) 海洋データの標準化及び海洋データ交換の推進 Standardization of Oceanic Data and Promotion of Exchange of Oceanic Data and Information	海上保安庁　水路部 Hydrographic Department, MSA
2. 大気・陸面に関する観測研究 Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions	
(1) 広域エネルギー収支に関する観測研究 Observation on Regional Surface Heat Budget	気象庁　気象研究所 Meteorological Research Institute(MRI/JMA) 郵政省　通信総合研究所 Communications Reseaech Laboratory(CRL), Ministry of Posts and Telecommunications
(2) チベット・ヒマラヤにおける水文変動に関する観測研究 Observation on Hydrology over the Tibetan Plateau and Himalayas	科学技術庁　防災科学技術研究所 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention(NRIESDP), Science and Technology Agency(STA)
(3) 大規模雲域内における対流雲構造に関する観測研究 Observation of Structure of Convective Cloud in the Large-scale Cloud Systems	気象庁　気象研究所 MRI/JMA 科学技術庁　防災科学技術研究所 NRIESDP/STA

研　究　項　目 Research Items	担　当　機　関 Research Institutes
3. 衛星データの解析研究 Analysis of Satellite data	
(1) モンスーン循環広域条件及び雪氷変動状況に関する解析研究 Analysis on Environmental Conditions and Snow-Ice Cover Changes Affecting to Monsoon Cycle in Asia	科学技術庁　防災科学技術研究所 NRIESDP/STA
(2) 大規模大気・海洋変動に関する解析研究 Analysis of Large-Scale Atmoaphere/Ocean Variations	気象庁　気象研究所 MRI/JMA
(3) 地球放射収支に関する解析研究 Analysis of Earth Radiation Budget in Relation to Asian Monsoon	気象庁　気象研究所 MRI/JMA
4. 地域水収支に関する解析研究 Analysis of Water Balance for Representative River Basins in Asia	科学技術庁　防災科学技術研究所 NRIESDP/STA
5. 大気・海洋・陸面間の相互作用に関する解析研究 Analysis of Air-Sea-Land Interactions	
(1) モンスーン降水系の解析 Analysis of Precipitation Systems in Asian Monsoon Region	気象庁　気象研究所 MRI/JMA
(2) モンスーン循環系の総合的解析 Comprehensive Analysis of Asian Monsoon Circulation System	気象庁　予報部 Forecasting Department/JMA
II　数値モデルによる実験研究 Theoretical/Experimental Study by Numerical Simulations	
1. 広域水収支モデルの開発に関する研究 Numerical Study on Regional Water Balance Model in Asia	科学技術庁　防災科学技術研究所 NRIESDP/STA
2. 季節内変動とアジアモンスーンの関連に関する実験研究 Numertical Study concerning Relationship between the Intraseasonal Oscillations in the Tropics and the Asian Monsoon Phenomena	気象庁　気象研究所 MRI/JMA
3. 大規模モデルによる大気・海洋・陸面間の相互作用に関する実験研究 Numerical Study on Air-Sea-Land Interactions in a Monsoon by GCM	気象庁　気象研究所 MRI/JMA
III　検討委員会の開催等 Research Steering Committee	科学技術庁　研究開発局 Research and Development Bureau STA 気象庁　気象研究所 MRI/JMA

4. 研究検討委員会
Research Steering Committee

委員名 (Membership)	所　属 (Affiliation)
委員長　浅井　冨雄 Chairman:Prof. Tomio Asai	広島大学総合科学部自然環境研究コース教授 Faculty of Integrated of Arts and Sciences, University of Hiroshima
委　員　安藤　正 Member :Mr. Tadashi Andoh	気象庁海洋気象部海洋課調査官 Oceanographical Division, Marine Department, Japan Meteorological Agency
大塚　伸 Mr. Shin Ohtsuka	気象庁気象研究所台風研究部長 Typhoon Research Division, Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency
幾志　新吉 Dr. Shinkichi Kishi	科学技術庁防災科学技術研究所先端解析技術研究部長 Advanced Measurement and Analysis Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Science and Technology Agency
工藤　達也 Mr. Tatsuya Kudo	気象庁予報部長期予報課予報官 Long Range Forecast Division, Forecast Division, Japan Meteorological Agency
河野　秀雄 Mr. Hideo Kohno	水産庁研究部研究課研究管理官 Research Division, Research Department, Fisheries Agency
小林　俊一 Prof. Shun'ichi Kobayashi	新潟大学積雪地域災害研究センター教授 Research Institute for Hazards in Snowy Areas, Niigata University
住　明正 Prof. Akimasa Sumi	東京大学気候システム研究センター教授 Center for Climate System Research, University of Tokyo
竹内　謙介 Prof. Kensuke Takeuchi	北海道大学低温科学研究所教授 Institute of Low Temperature Science, University of Hokkaido

委員名 (Membership)	所　属　(Affiliation)
中村　健治 Dr. Kenji Nakamura	郵政省通信総合研究所関東支所地球環境計測研究室長 Earth Environment Section, Kashima Space Research Center, Communication Research Laboratory, Ministry of Posts and Telecommunications
新田　勁 Dr. Tsuyoshi Nitta	東京大学気候システム研究センター教授 Center for Climate System Research, University of Tokyo
菱田　昌孝 Mr. Masataka Hishida	海上保安庁水路部海洋調査課長 Ocean Surveys Division, Hydrographic Department, Maritime Safety Agency
水野　恵介 Dr. Keisuke Mizuno	水産庁遠洋水産研究所海洋・南大洋部低緯度域海洋研究室長 Far Seas Fisheries Research Laboratory, Fisheries Agency
安成　哲三 Prof. Tetsuzo Yasunari	筑波大学地球科学系教授 Institute of Geosciences, University of Tsukuba
山形　俊男 Prof. Toshio Yamagata	東京大学理学部地球惑星物理学教室助教授 Faculty of Science, University of Tokyo
山田　修 Mr. Osamu Yamada	海上保安庁水路部海洋情報課長 Director, Japan Oceanographic Data Center, Hydrographic Department, Maritime Safety Agency
浅川　敏郎 Mr. Toshiro Asakawa	科学技術庁研究開発局地球科学技術推進室長 Office of Earth Science and Technology, Science and Technology Agency of Japan

II．研究成果報告

Result of the Study

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（1）海洋に関する観測研究
Observation in the Indian Ocean

①　表層水温に関する観測研究
Observation on Sub-Surface Temperature by Voluntary Ships

水産庁　遠洋水産研究所
水野恵介・渡邊朝生

National Research Institute of Far Seas Fisheries
Fisheries Agency
Keisuke Mizuno and Tomowo Watanabe

(ABSTRACT)
Indonesian Through-Flow plays an important role to determine the heat budget for not only eastern Indian Ocean locally but also for entire southern Indian Ocean. Based upon historical temperature/depth data principally obtained by Far Seas Lab., annual and interannual sub-surface temperature (T100) in the area of entrance to the Indian Ocean were investigated. Annual signal is primarily related to local wind stress. In August-September, Easterly induces upwelling off south coast of Java and the temperature becomes minimum in a year. Interannual signal related to ENSO was found. In El Nino/La Nina years, negative/positive anomalies tended to appear. But leads T100 anomaly by 3-4 months, indicating negative/positive anomalies in the Pacific Ocean in El Nino/La Nina periods propagate to the area by the perturbation in the Indonesian Through Flow, probably coastal Kelvin wave in the Indonesian archperago and Rossby wave after it enters the Indian Ocean.

1．研究目的

アジアモンスーンは，基本的に海洋と大陸の熱のコントラストが主要因であるから，海洋の表面および表層の熱分布がどの様に決定されるのかを理解することがモンスーン機構を明らかにするうえで重要と考えられる．これまで既往資料の解析によって，表面水温の季節・経年変化や，表面下の水温構造の季節変化を調べてきた．経年変動特性については，インド洋の表面水温の変動エンソシグナルに3ヶ月程度遅れてインド洋全体で同時的に高／低温化するパターンが卓越することを示し，エル・ニーニョとの強い関係が明らかになった．一方，海洋内部でもこのようなエル・ニーニョとの関係があるはずである．そこで，もっともエル・ニーニョの影響を受けるのは，おそらく太平洋からの海水の流入があるインド洋東部と考えられるので，この海域の変動を調べることにした．太平洋からインドネシ

ア諸島海域を通り，インド洋に抜ける流れはインドネシアスルーフローとよばれ，まずインド洋にジャワ島とオーストラリア北西岸に間海域に入り１２°Ｓ付近をインド洋を横断してマダガスカルまで流れる南赤道海流に連なり，さらにアグリアス海流で南アフリカ沖まで南下し，再び周南極海流でオーストラリア南岸を通過して太平洋にもどるとされている(Hirst and Godfrey 1993)．インドネシアンスルーフローを調べたのは，この流れがインド洋の表層の熱収支に影響を与えアジアモンスーンにも影響する可能性があると考えられるためである．

２．研究方法

解析対象海域は１１０°Ｅ～１３０°Ｅ；５°Ｓ～２０°Ｓとした．用いた資料は主に遠洋水産研究所で収集された１９６７年から１９８６年までの２０年間に水産高校等により実施されたまぐろ資源調査時の水深／水温観測資料（ＢＴ，ＤＢＴ，ＣＴＤ，各層観測による水温･深度データ）である．これは既にＮＯＤＣのＣＤＲＯＭに収められている．これにデータの品質管理をほどこして約3万点の水温のデータセットを作成した（図１）．このデータセットを１９６７年１・２月から１９８６年１１・１２月までの２ヶ月毎にまとめ，各々の期間で緯経度1度毎の格子点を設け，この格子点を中心に緯経度4度のます目内のデータを平均してこの格子点の推定値として２０年間の２ヶ月ごとの合計１２０の格子点データセットを作成した．

３．研究成果

３－１．平均状態および偏差

２ヶ月毎の格子点データセットの全平均を計算して２０年間の長期平均を計算した（図２上）。平均状態では水温はジャワ島近海で最も低く（20℃）、１２－１５°Ｓ帯に東西方向に伸びる高温水帯が見られる．これらの間は東西に伸びる前線帯となっているが，これは南赤道海流に連なっている．太平洋の南米沖や大西洋のアフリカ沖など一般に大洋の東岸部低緯度帯は亜熱帯循環の東端に当る部分は低温域となるのであるが，インド洋においてはこれは成立しない．これは，太平洋からの海水の流入（インドネシアンスルーフロー）があるためである。

標準偏差（図2下）この海域の北西部で大きくジャワ島南東部で最大となり、オーストラリア沿岸で最小となる。このようにジャワ島付近で変動が大きくなるのは、後述のようにこの海域では水温の季節変動が大きいためである。

３－２．季節変化

１年の各２ヶ月（１－２月，３－４月，５－６月，７－８月，９－１０月，１１－１２月）について各々の長期２ヶ月別平均を作成して，周年の変化を調べた（図３）．この図では20℃以下の低温域を格子の陰影と付け、

25℃以上の高温域を網目の陰影として示している。この海域の中央部はほぼ通年にわたり高温部になっている．一方，ジャワ島－チモール島南岸の水温は、南東モンスーン期にはこの海域は東寄りの風が卓越するため沿岸部は湧昇域となり低温になっている．７・８月にこの様子が最もよく現れているが，この時期は中央部で最も水温が高くなっており，前線も最も発達している．インドネシアンスルーフローが最強となる８月（Godfrey et al. 1993)とされており，この高温水はスルーフローの影響と考えられるが，これが強くなるのは局地的な風による湧昇のため前線が発達し，地衡流が強くなることも原因と考えられる．一方北東モンスーン期にはこの海域は西風が卓越するためジャワ島沿岸は逆に収束域となるため，水温の低下は起こらない．

全体的な季節変化は，ほぼ局地的な風の応力で生じるジャワ島沖の湧昇の影響が大きい．これは図２下でこの海域で標準偏差が最大になっているからも理解できる．

３－３．経年変化

この海域における経年的な水温の変動を知るために、図４にこの海域における100m深水温のアノマリー（個々の２ヶ月毎の水温分布から対応する２ヶ月別の長期平均を引いたもの）の変化の様子を示した．ここでは，１９８２－１９８４年の１・２月，５・６月，９・１０月のみを示した．太平洋では１９８２年後半から１９８３半ばまでエル・ニーニョが発生しており，１９８４年は逆にラ・ニーニャが発生している．図４からは，１９８２年の後半から１９８３年中は負のアノマリー（図の陰影部）が卓越し，１９８４年に入ると逆に正のアノマリーが卓越している．これは太平洋熱帯域の西岸部はエル・ニーニョ時には上層の暖水は薄くなって表層水温低温になり，ラ・ニーニャ時には上層に暖水が蓄積されて厚くなって表層水温は高温になる．よって，この海域に現れた水温アノマリーの経年変化傾向は，太平洋熱帯域西岸部と良く一致しているといえよう．

図は一部分のみを示したが，２０年全体でもこの傾向は見出された．これを検証するため，水温アノマリーを１１５°Ｅ線上で平均したものと，エンソシグナルとを比較した（図５）．７２・７３年，７６・７７年，８２・８３年のエル・ニーニョ時（ＳＯＩが負）には，アノマリーも負になる傾向を示している．ただし，両者にはややラグがあるようにみられ，ＳＯＩに対して，水温アノマリーの位相がやや遅れているようである．これを定量的に見積もるためラグ相関を計算した（図５下）．この結果最大の相関はラグ－２（３－４ヶ月）に現れ，海洋が大気に対し，この程度で応答していることがわかる．

４．考察

インド洋東部熱帯海域の１００ｍ深水温は，太平洋のエンソシグナルの影響を受け，エル・ニーニョ／ラ・ニーニャ時に低温／高温になることが示さ

れた．この応答は３～４ヶ月程度の遅れが見られた．これは西部熱帯太平洋からの情報がインドネシア諸島内の海域をケルビン波で伝播し，インド洋に入ってからはロスビー波で伝播すると考えれば，ケルビン波でインドネシア諸島内部の海域を１ヶ月程度，ロスビー波で１１５°Ｅに至るのに２ヶ月程度と考えられるので，この遅れはおおよそ説明されよう．インドネシアスルーフローが太平洋のエル・ニーニョ／ラ・ニーニャに応答しつつ，インド洋に熱や質量を供給していることが明らかになった．

しかしながら，前年度までに，インド洋表面水温はエル・ニーニョ時に，全体が高温化するパターンが卓越することを見出しており，今年度の結果はインドネシア通過流によるインド洋への熱流入はこれと逆行することを示している．この理由は今のところ不明であるが，インド洋の表層水温の変化を緩やかにするようはたらいている可能性がある．今後，大気との相互作用および海洋内部の混合過程を定量的に検討する必要がある．

５．引用文献

Hirst A.C. and J.S.Godfrey (1993): The role of the Indonesian Throughflow in a global ocean GCM. J.Phys.Oceanogrr.23,1057-1086.

Godfrey J.S., A.C.Hirst and J.Wilkn(1993): Why dones the Indonesian Throughflow appear to originate from the North Pacific? J.Phys. Oceanogr.23,1088-1098.

６．成果の発表

１）国内

発表者名	発表課題	学協会誌名等	備考
（口演） 水野 恵介	インド洋の表層水温の季節・経年変動	日本海洋学会 １９９４年度日本海洋学会春季大会講演要旨集 175-176p.	

図の説明

図１．水深／水温データの分布（1967～1986年）
Figure1. Geophysical temperature/depth data distribution(1967～1986).

図２．長期平均100m水温分布および標準偏差．
Figure 2. Long-term mean T100 and total RMS.

図３．２ヶ月別100m水温分布．
Figure 3. Long-term bimonthly T100 distribution.

図４．経年変化の例を示す．個々の２ヶ月毎の１００m水温アノマリー分布を示す（陰影部は負のアノマリー）．１９８２－８３年のエル・ニーニョ年には８２年後半から低温化が始り，８３年中は低温が続き，８４年に高温化していることがわかる．図は１・２月，５・６月および９・１０月のみを示した．
Figure 4. Examples of interannual change of T100 distribution during ENSO year and the following year. Individual bimonthly anomalous T100 maps were shown for 1982,1983(ENSO year) and 1984. Negative anomalies were shaded. Only maps for January-Feburuary, May-June and Septemper-October are displayed.

図５．上図；東経１１５°Eに沿って平均した水温アノマリー（ただしノーマライズしてある）とエル・ニーニョの指標となる南方振動指数（ＳＯＩ）との比較．下図；両者のラグ相関．図中の破線は９５％の信頼限界．
Figure 5. upper panel; Normalized anomaly along 115E (thick line) and SOI (thin line). lower panel; Lag-correlation between the two. Negative lag denotes SOI leads the anomalous T100 temperarure. The Horizontal dashed line indicates 95% confidence limit.

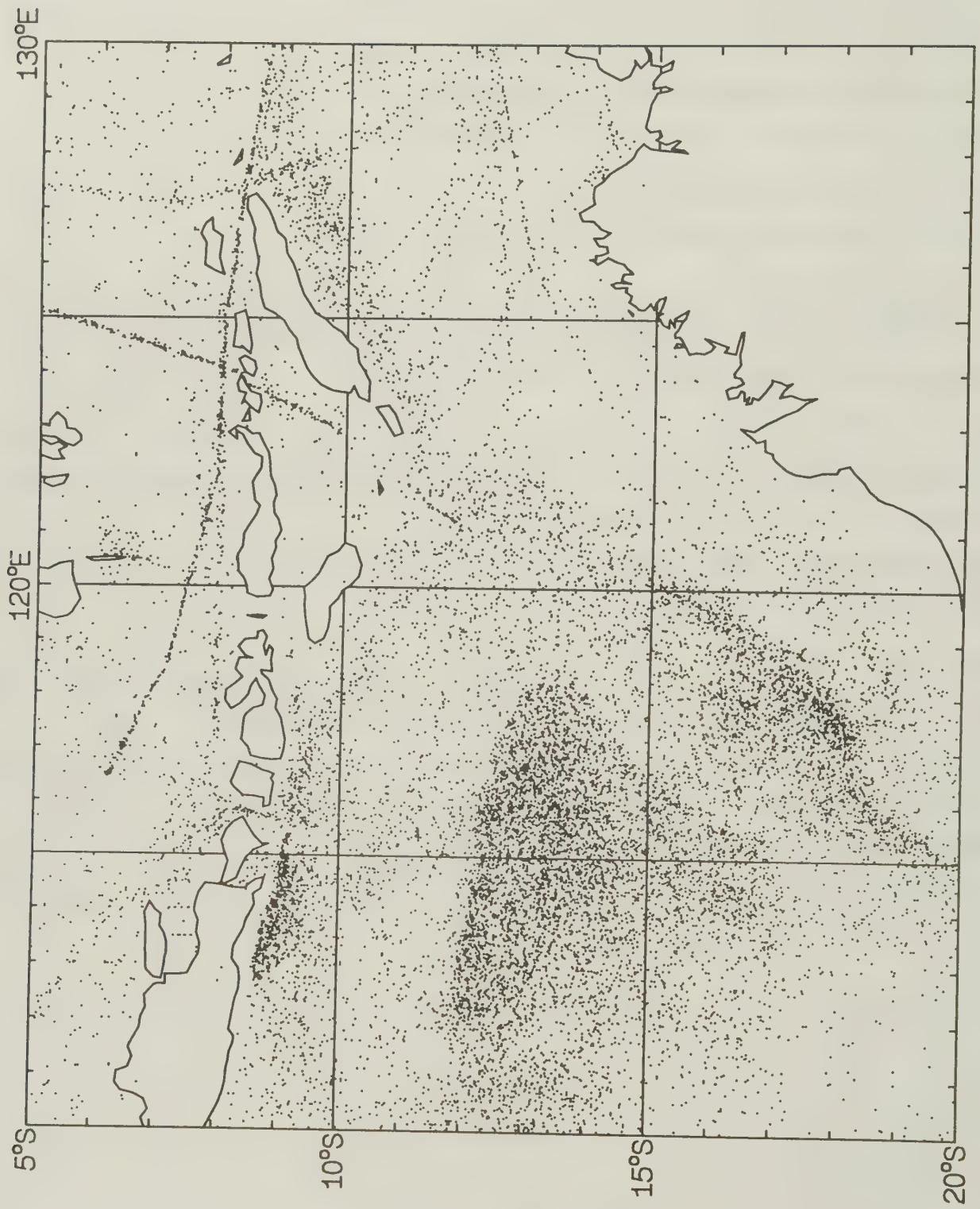
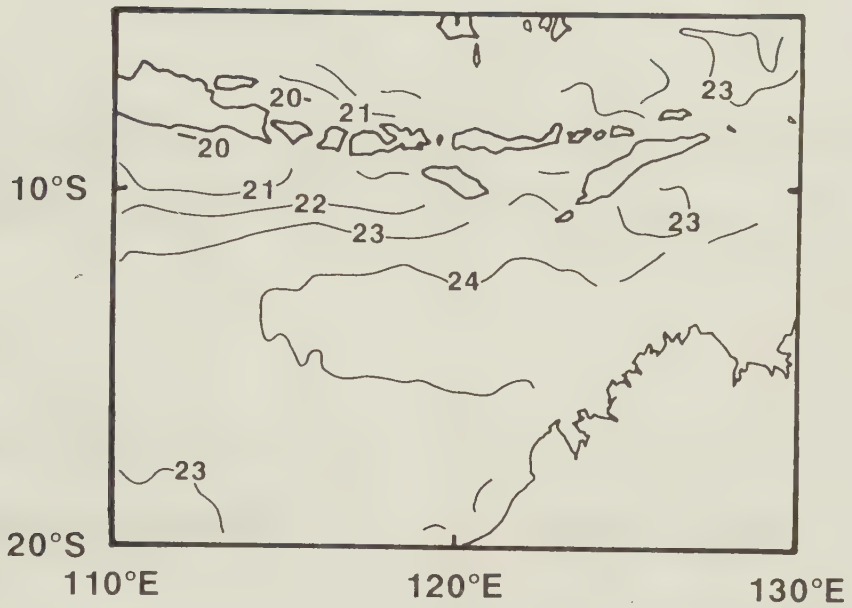


Figure 1

LONG-TERM MEAN TEMPERATURE AT 100 METER DEPTH (1967-1986)



LONG-TERM TOTAL RMS OF TEMPERATURE AT 100 METER DEPTH (1967-1986)

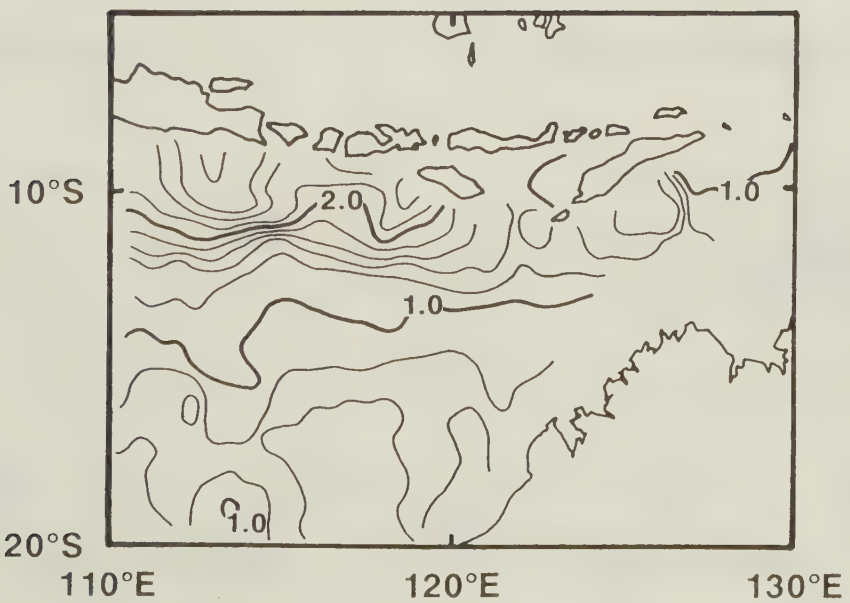
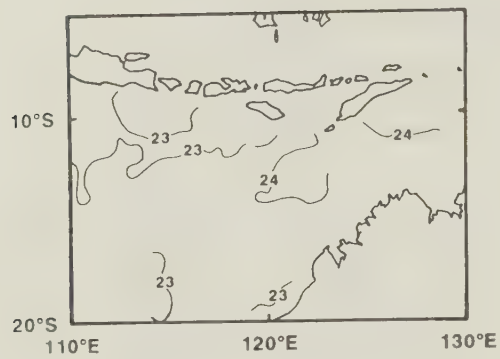
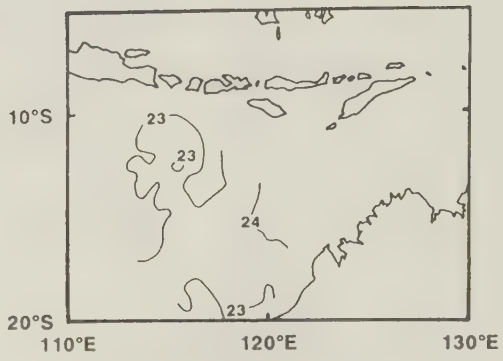


Figure 2

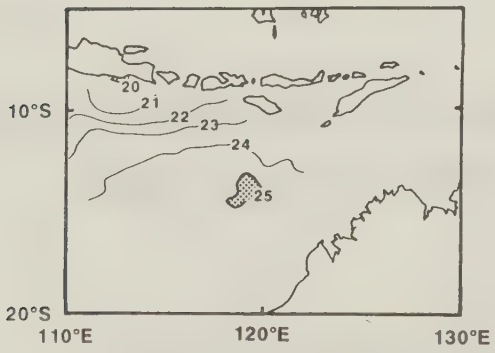
BI-MONTHLY LONG-TERM MEAN TEMPERATURE AT 100 METER DEPTH (1967 - 1986)



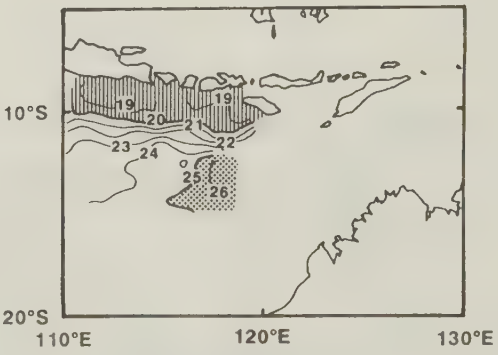
JAN.-FEB.



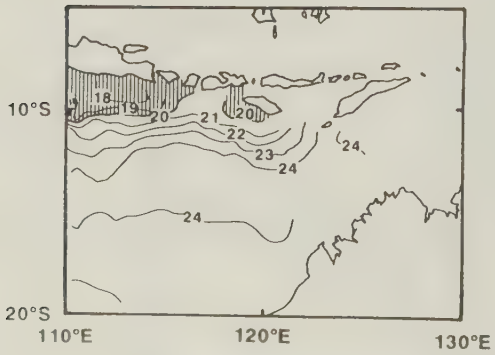
MAR.-APR.



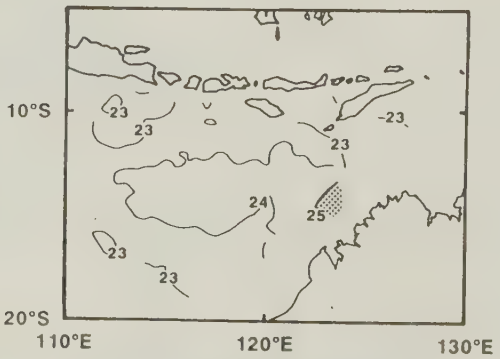
MAY-JUNE



JULY-AUG.



SEP.-OCT.



NOV.-DEC.

Figure 3

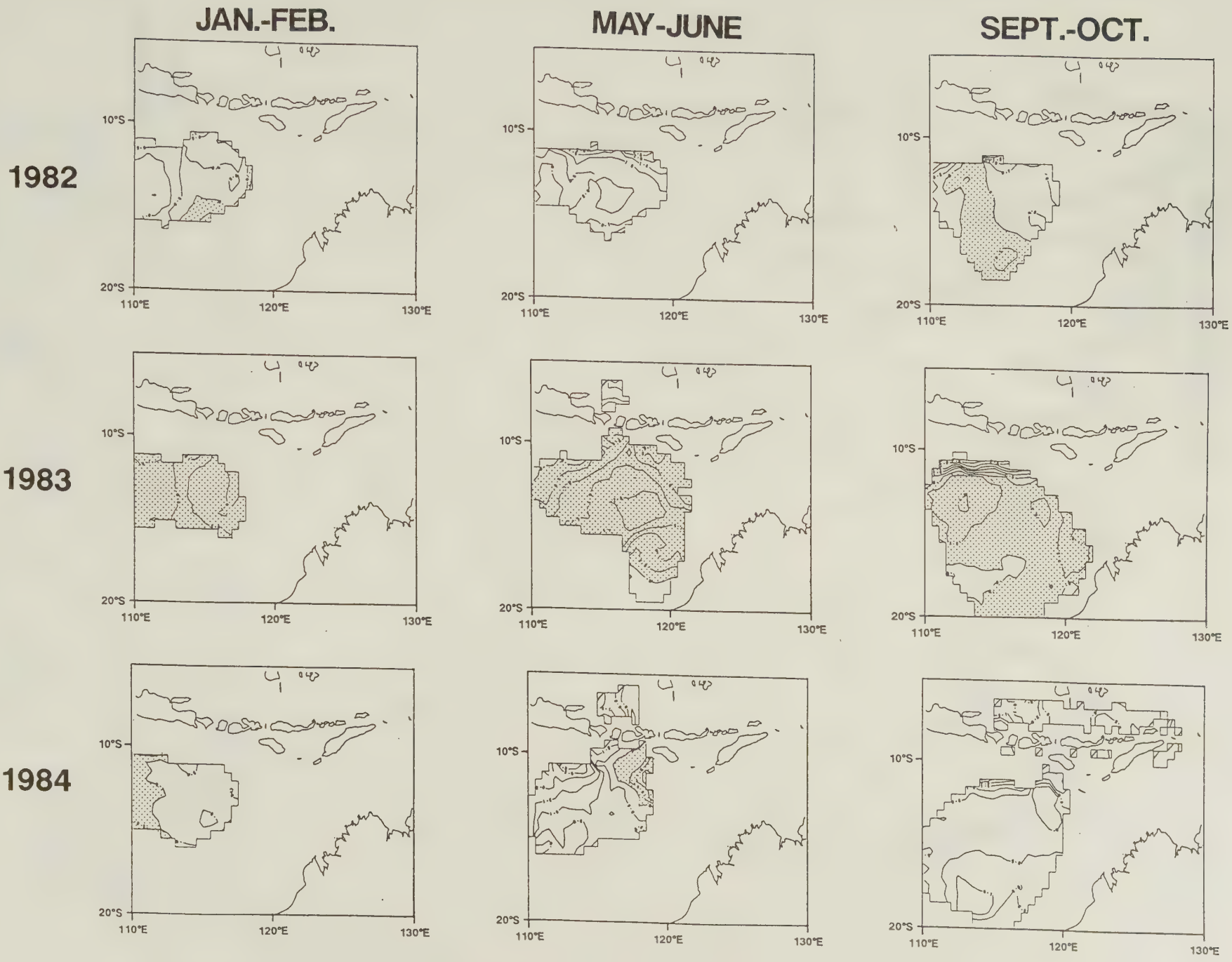
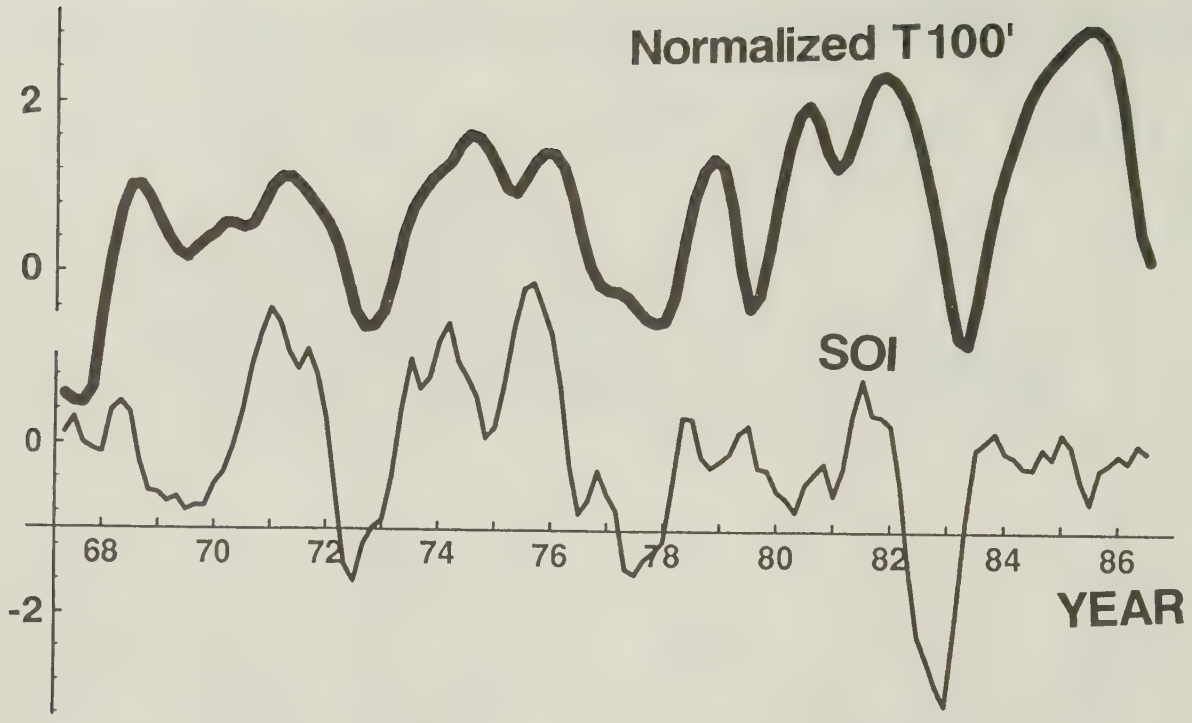

JAN.-FEB.
MAY-JUNE
SEPT.-OCT.
1982
1983
1984
10°S
20°S
110°E
120°E
130°E

Figure 4


Normalized T100'
SOI
2
0
0
-2
68
70
72
74
76
78
80
82
84
86
YEAR

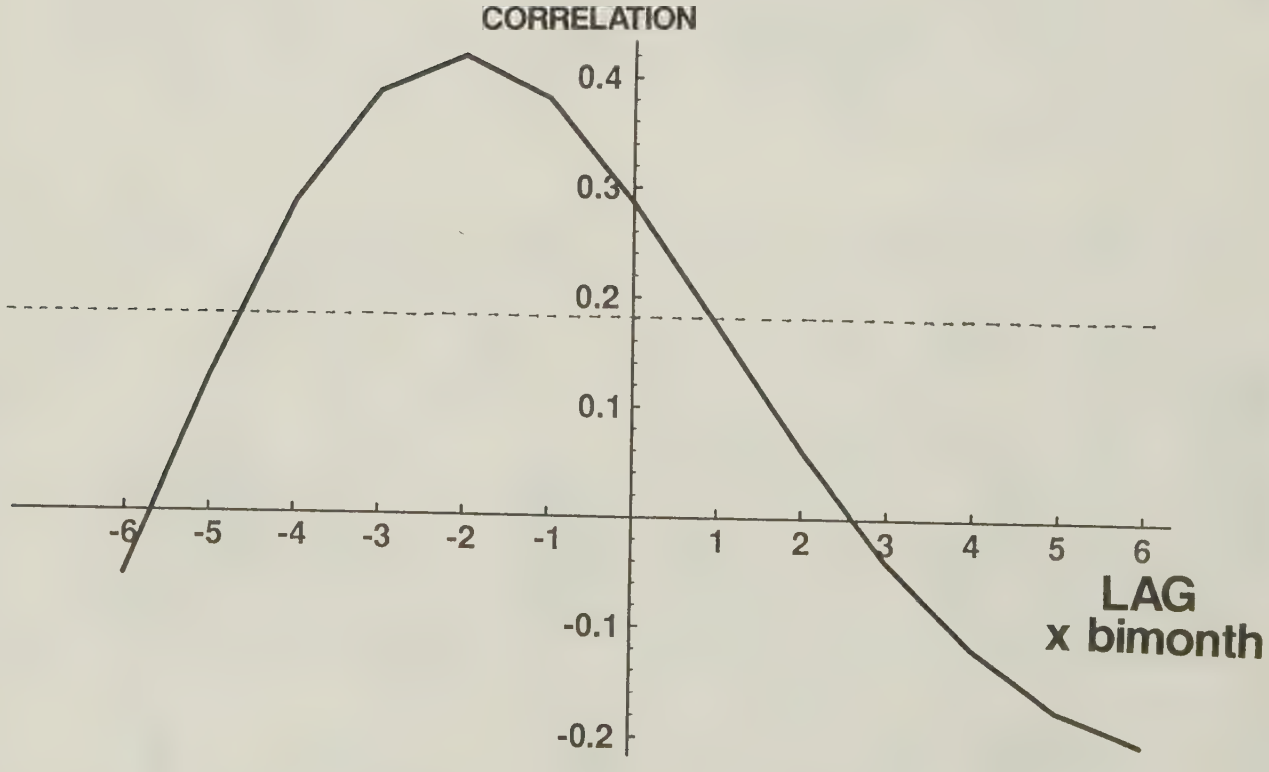

CORRELATION
0.4
0.3
0.2
0.1
-0.1
-0.2
-6
-5
-4
-3
-2
-1
1
2
3
4
5
6
LAG
x bimonth

Figure 5

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（1）海洋に関する観測研究
Observation in the Indian Ocean

①　表層水温に関する観測研究
Observation on Sub-Surface Temperature by Voluntary ships

気象庁海洋気象部
石川孝一、安藤　正、吉田　隆
Marine Department, Japan Meteorological Agency
K. Ishikawa, T. Ando, T. Yoshida

(Abstract)

Subsurface temperature observations with XBT have been made by two voluntary ships "Kashimasan Maru" and "Delmas Tourville" in the Indian Ocean since 1990. Vertical thermal inversions over 1℃ were found in more than 10 temperature profiles observed by "Kashimasan-Maru" off the Gulf of Oman and the Arabian Sea.

An analysis of historical temperature and salinity data in the Arabian Sea and its adjacent seas shows that the vertical thermal inversions consist with salinity maxima.

The historical temperature data(total 61,564) in the Arabian Sea and its adjacent seas are used in the analysis. From the frequency of vertical thermal inversion, it is shown that origins of high salinity water are Persian Gulf and Red Sea, and these high salinity water spread south-west ward along the coast of Africa and south-east ward along the coast of India flowing to the Arabian Sea.

1．研究目的

インド洋から東南アジア周辺にかけての海域は、アジアモンスーンの舞台であり、さらに、全世界の気象に大きな影響を及ぼすエルニーニョ現象の消長と密接な関係にあると考えられており[1)2)]、近年、その海洋構造の把握、アジアモンスーンとの関係並びにエルニーニョ現象との関係の解明が望まれている。しかしながら、インド洋から東南アジア周辺にかけての海洋観測は非常に少なく、海況の把握が十分に行われていない。

そこで、わが国とインド洋との間を往復する商船に、表層水温観測装置と、その観測結果を気象衛星を経由して通報する装置を搭載して、インド洋・東南アジア周辺海域における表層水温観測データを取得するとともに、世界気象機関（WMO）の全球気象通信網（GTS回線）を通して全世界の気象機関にこれらのデータを配信する。取得した表層水温観測データに、GTS回線を通して得られた他機関からの表層水温データを併せ、これらの海域の表層の海況を解析し、季節変動・年々変動の特性等を解明する。さらに、これらのデータのデータベースを構築し、大気変動との関係についても解明し、アジアモンスーン機構の研究に供する。

2．研究方法

日本～マラッカ海峡～ペルシャ湾を航行するタンカー「鹿島山丸」及び日本～マラッカ海峡～喜望峰を航行する「Delmas Tourville」に表層水温観測とその通報を委託し、インド洋及び南シナ海の表層水温データを取得する。

得られた表層水温観測データから、アラビア海北西部からオマーン湾にかけての 300m 深を中心に２～３℃にもおよぶ水温逆転が存在することがわかった。この水温逆転は密度的に安定であるためには高塩分水である必要があり、ペルシャ湾起源の高温、高塩分水のアラビア海への流出の結果と考えられる。インド洋の海洋構造の把握の観点から、アラビア海とその付属海（ペルシャ湾、オマーン湾、紅海、アデン湾）について、これまでの海洋観測データ（1940～）をＪＯＤＣ、ＵＳ　ＮＯＤＣ、ＩＦＲＥＭＥＲ（仏）等から入手し、これらのデータについて水温逆転構造及びその分布について調査した。

3．研究成果

（1）委託商船による表層水温観測（図１）

「鹿島山丸」による観測は、南シナ海、ベンガル湾、アラビア海で1990年10月から開始され1994年4 月までに、計1181点の表層水温データが得られた。「Delmas Tourville」による観測は、マラッカ海峡から喜望峰に至る航路上で1990年4 月から開始され1994年4 月までに、計490 点の表層水温データが得られた。

「鹿島山丸」が観測した水温鉛直プロファイルのうち、アラビア海北西部からオマーン湾にかけて１℃を超える水温逆転を持つものが１０数例見つかった。この水温逆転は、密度的に塩分で補償される必要があり、逆転した高水温層は高塩分であると推定され、ペルシャ湾起源の高温・高塩分水がペルシャ湾からオマーン湾を経てアラビア湾に流出したものと考えられることを、安藤ほか[3]が述べている。

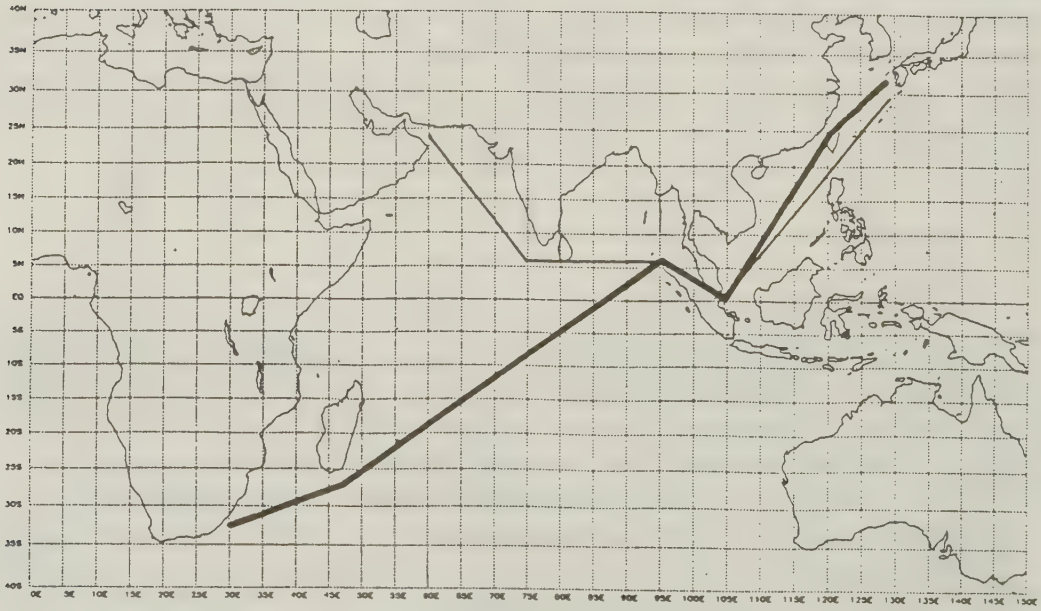


図１　委託商船の航路。細線は「鹿島山丸」、太線は「Delmas Tourville」
Fig. 1 Cruise tracks of Kashimasan Maru (thin line) and Delmas Tourville (bold line).

（２）水温逆転の構造

これまでの海洋観測データ（1940～）から、アラビア湾とその付属海について、水温逆転の構造を調べた。

水温逆転は、ペルシャ湾からオマーン湾、アラビア海の北西部と紅海からアデン湾にかけて主に見られる。これらの出現場所ごとに水温と塩分の鉛直プロファイルを、図２、図３に示す。水温逆転に塩分極大が対応した構造となっており、水温逆転が高温、高塩分水の存在により生じていることがわかる。アラビア海、インド洋北部の高温、高塩分水は５つの起源を、もちインド洋に様々な流路を経て広がっているとされている(D. J. Rochford, 1964)[4]。この５つの起源の中にペルシャ湾起源と紅海起源があり、水温逆転はこれらの高温、高塩分水の流出の結果と考えられる。

図２、図３から、高温、高塩分水の塩分濃度は、紅海起源のほうがペルシャ湾起源より高い傾向にあり、紅海起源水のほうがペルシャ湾起源水より密度が大きいと言える。また、これらが見られる深度は、湾奥より外海に向かうに従い深くなっており、湾口の海底敷居によって湾内に閉じ込められていた高温、高塩分水が外海へ沈降しつつ流出していると推定される。

（３）アラビア海とその付属海における水温逆転の分布

紅海起源の高温、高塩分水は、水深500 ～1200m付近を南西方向にマダガスカル島までと、南東方向にモルディブ諸島からオーストラリアの南西にまで広がっており、一方、ペルシャ湾起源の高温、高塩分水は、水深200 ～500 m付近をマダガスカルの西方までと赤道に沿って90°Eまで広がっているとされている[4]。

水温逆転がこれらの高温、高塩分水の流出の結果と考えられることから、アラビア海とその付属海についてこれまでの水温データから（鹿島山丸のデータも含め）水温逆転の分布を調べた。検索したデータの分布を図４に示す（総数61,564データ）。連続する２つの観測層の水温が0.5 ℃以上逆転しているプロファイルをもつデータの分布を、プロットしたのが図５である。データは、ペルシャ湾からオマーン湾、紅海からアデン湾にかけて多く分布し、そこから更に南西にアラビア半島、ソマリア半島沿いに多く見られる。また、アラビア海北西部から南東にインド沿岸沿いにも見られる。

観測データが航路上に多く偏っており、水温逆転プロファイルを持つデータの分布が、高温、高塩分水の流路を必ずしも示してはいないと考えられ、緯・経度５度の升目ごとに水温逆転の出現頻度を求めた（図６）。出現頻度分布からも、ペルシャ湾からオマーン湾と紅海からアデン湾にかけての頻度が高く、また、アラビア半島、ソマリア半島沿いとインド沿いの頻度が高くなっていることから、ペルシャ湾と紅海起源の高温、高塩分水が、南西方向にアラビア半島、ソマリア半島沿いに、また南東にインド沿いに広がっていると推定される。

４．考　察

インド洋の中層、深層の海洋構造には塩分極大層が見られ、この塩分極大層は、ペルシャ湾や紅海から流出してくる高温、高塩分水により形成されている。これと同様の現象に、地中海からジブラルタル海峡を経て北西大西洋に流出している高塩分水がある。これについては、北西大西洋中層で半径10～20km、厚さ数百ｍの渦構造を呈し、その構造、移動の状況について詳細な観測が行われている[5]。

ペルシャ湾、紅海で形成されインド洋に流出する高温、高塩分水の分布が、航路に沿った表層水温観測データや、歴史的な海洋観測データから明かになった。これらの高温、高塩分水が北西大西洋のような渦構造を持つのか、また、その寿命や移動の経路等の詳しいことについては、海洋観測データが少ないことにより、良く解っていない。インド洋の海洋構造を把握し、その変動特性を解明するためには、塩分極大層の形成機構やその変動についての解明も重要であり、今後、引き続きデータを蓄積していくとともに、より詳細な観測や、ＸＣＴＤの導入を図っていくことが必要である。

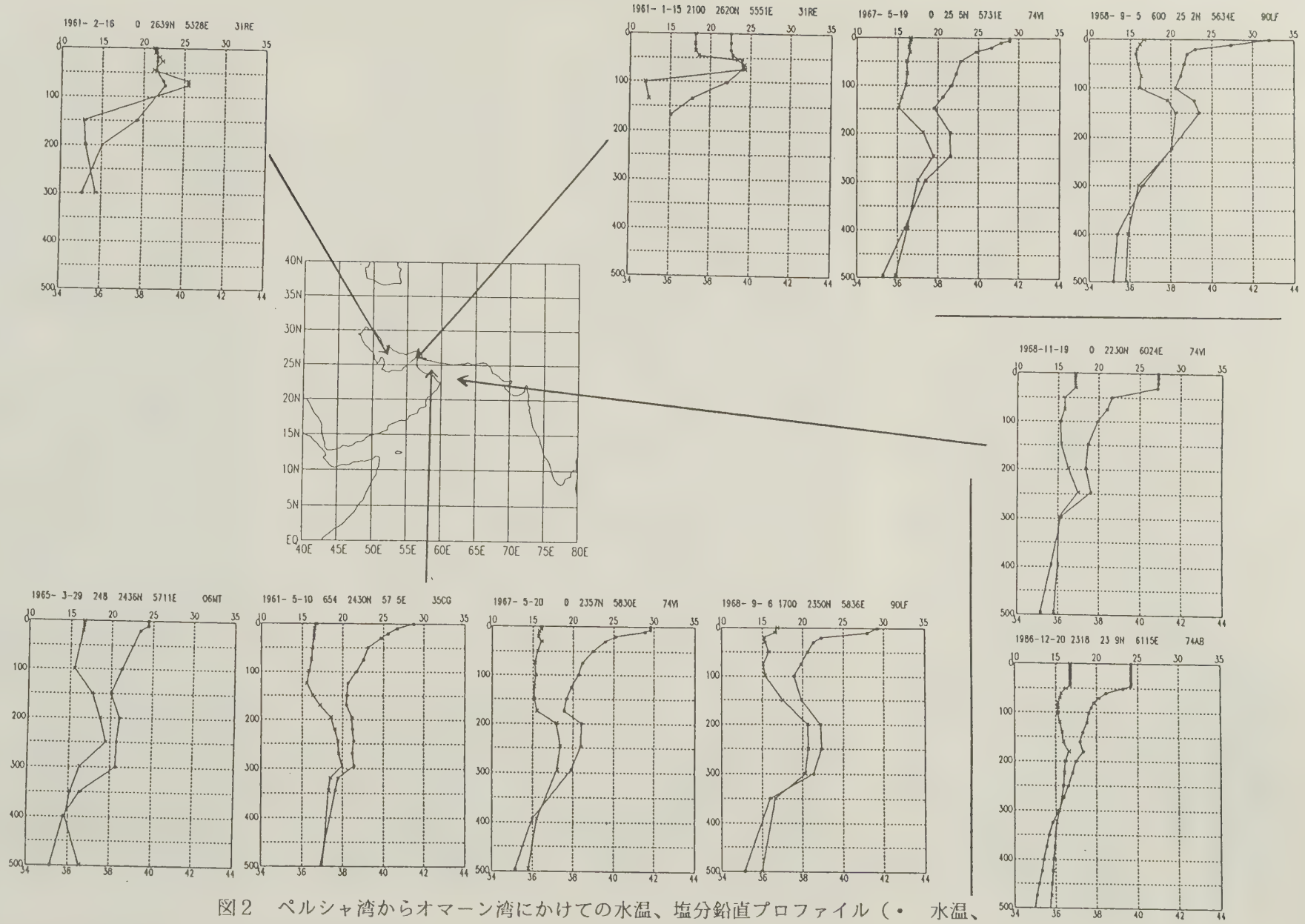


図2　ペルシャ湾からオマーン湾にかけての水温、塩分鉛直プロファイル（・　水温、×　塩分）

Fig. 2 Vertical profiles of temperature and salinity from Persian Gulf to Gulf of Oman. （・ temperature, × salinity ）

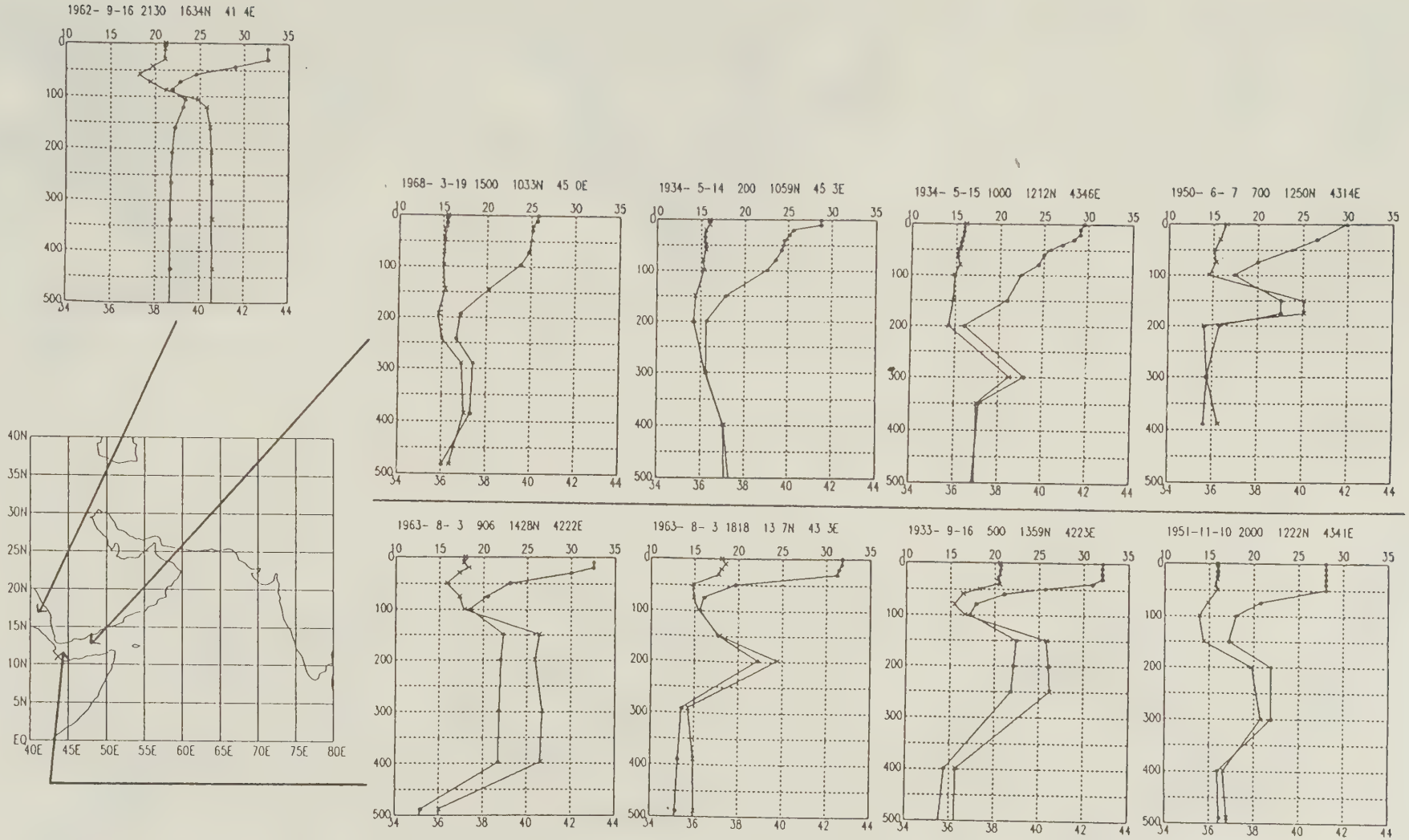


図3　紅海からアデン湾にかけての水温、塩分鉛直プロファイル（・　水温、×　塩分）
Fig. 3 Vertical profiles of temperature and salinity from Red Sea to Gulf of Aden. (• temperature, × salinity)

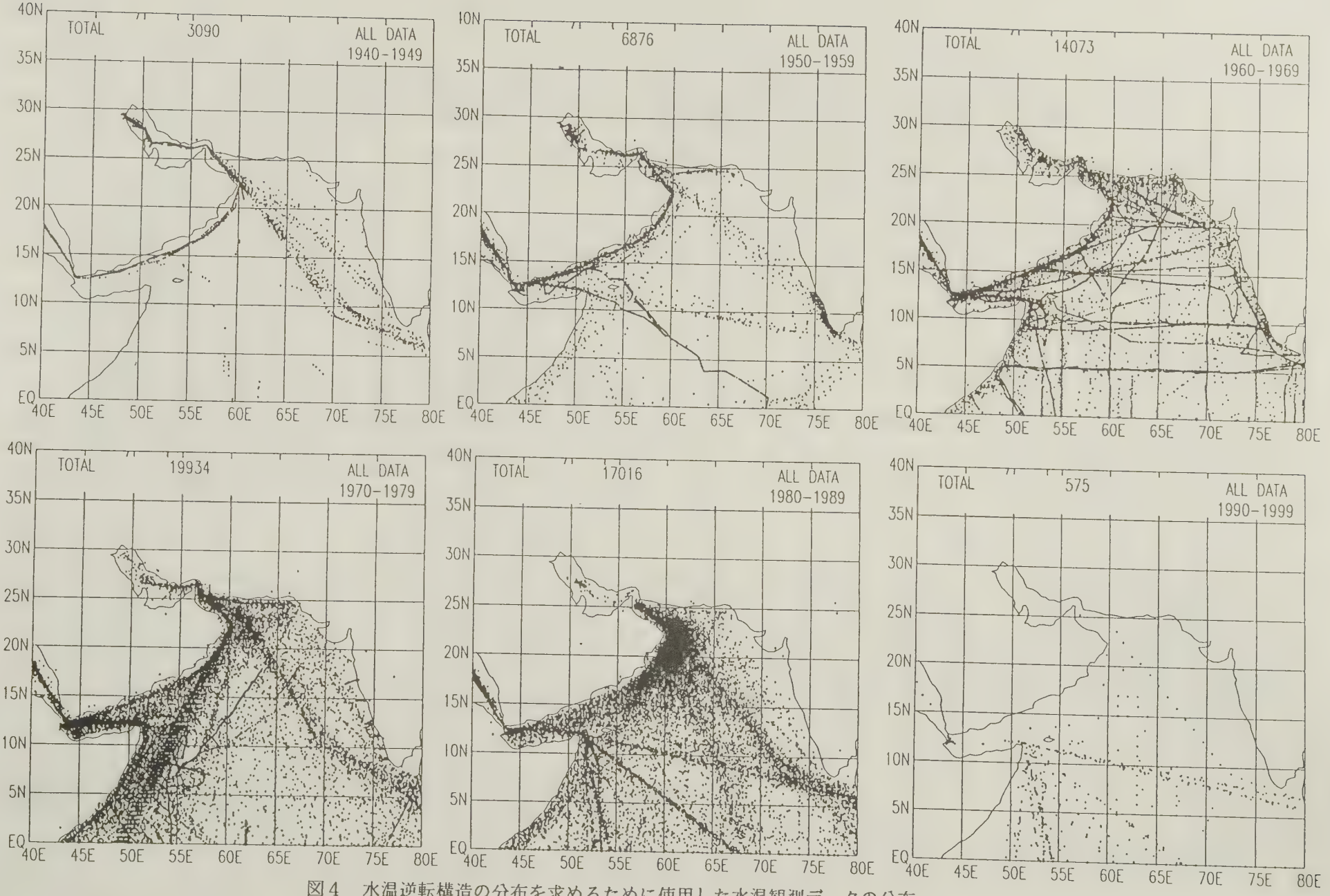


図4　水温逆転構造の分布を求めるために使用した水温観測データの分布

Fig. 4 Distribution of temperature data used for the analysis of vertical temperature inversion.

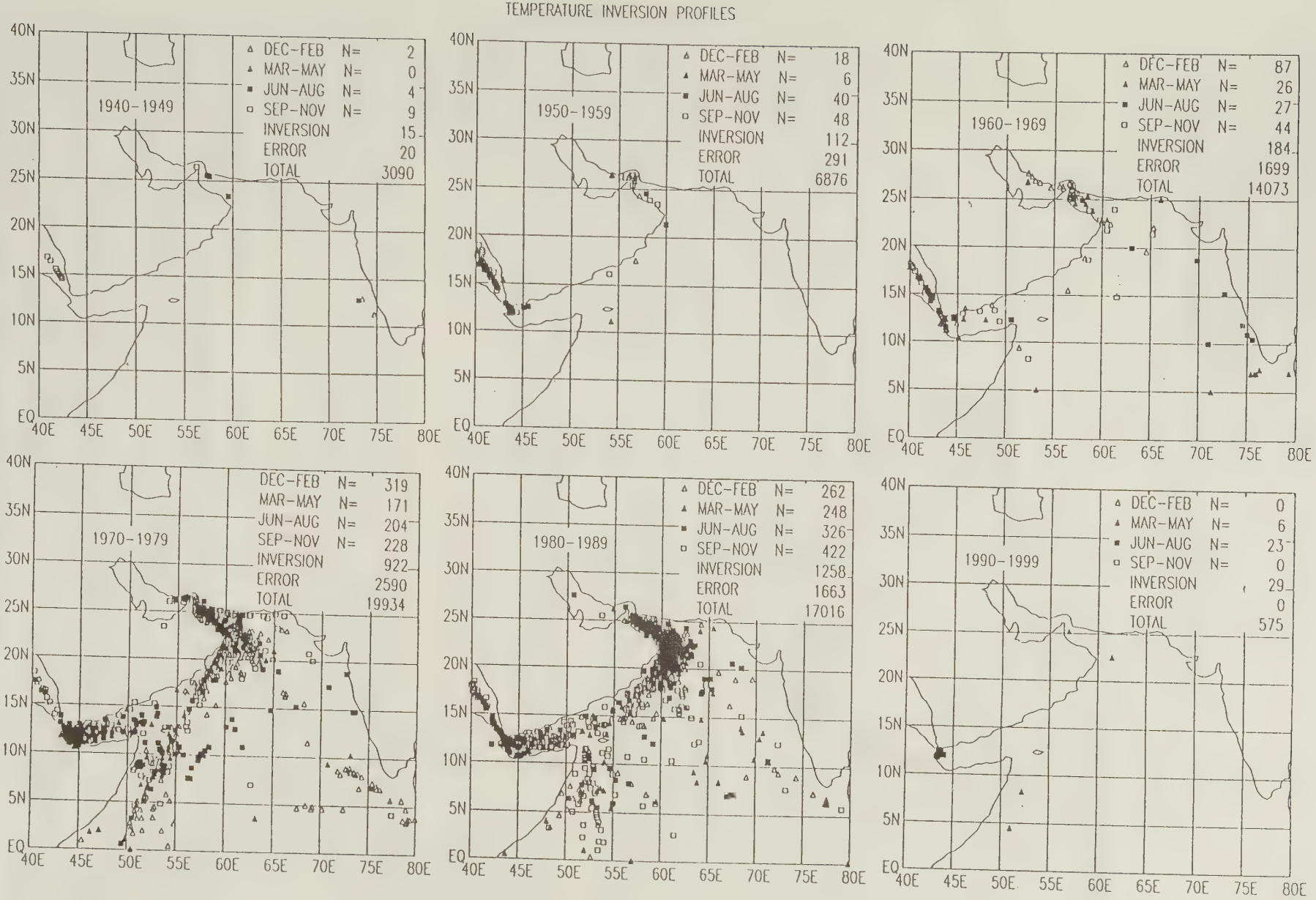


図5　水温逆転構造を持つ水温観測データの分布
Fig. 5 Distribution of vertical temperature inversion.

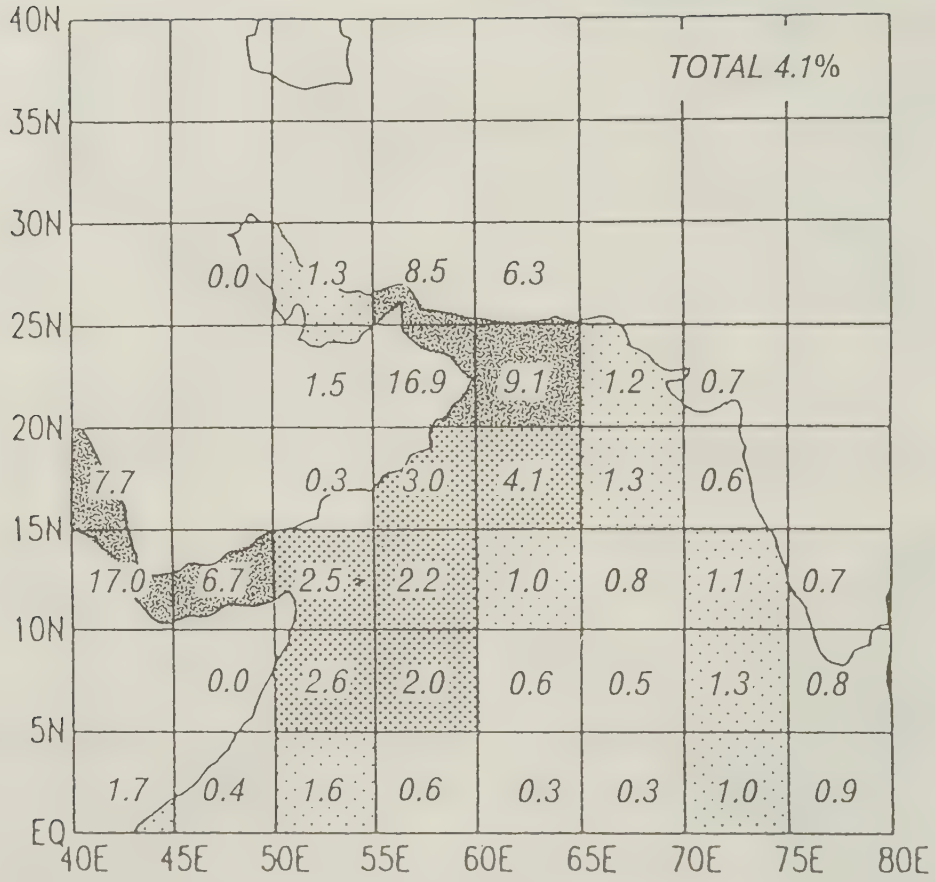


図6　水温逆転構造を持つ水温観測データの頻度分布
Fig. 6 Frequency of vertical temperature inversion.

5．引用文献

1）T.Barnett; Mon. Weather Rev., 111, 756 (1983)
2）N.Nicholls; Mon. Weather Rev., 112, 424 (1984)
3）安藤正，吉田隆，熊本真理子；アジアモンスーン気候に関する研究（平成４年度）成果報告書，(1993)
4）D.J.Rochford; Aust. J. Mar. and Freshw. Re., 1, 24 (1964)
5）R.D.Pingree and B.Le.Cann; Deep-Sea Research, 40, 2077 (1993)

6．成果の発表

なし

7．関係国との協力

フランスのＯＲＳＴＯＭ海洋研究所と共同で貨物船に表層水温の観測・通報を委託した。

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（1）海洋に関する観測研究
Observational Study on the Indian Ocean

② 海流循環に関する観測研究
Observation on Oceanic Current with Drifting Buoys

海上保安庁水路部海洋調査課
道田　豊、寄高博行
Ocean Surveys Division
Hydrographic Department
Maritime Safety Agency
Y. Michida and H. Yoritaka

(Abstract)　The purpose of this study is to elucidate the ocean circulation, to estimate heat transport by ocdeanic currents and to understand characteristics of their temporal(annual, interannual)/spatial variation in the Indian Ocean, particularly in the tropical region.　For this purpose, Lagrangian observation of surface current has been made with satellite-tracked ARGOS drifters since 1989.

The results of investigation for the fiscal year of 1993 are described in this paper.　Five drifters were deployed in the eastern tropical area of the Indian Ocean, south off Java Island, in November 1993 under cooperation with R/V 'Kagoshima-maru' of Kagoshima University.　Averaged velocity was calculated from the location data of drifters for 2x2 degree grids, and seasonal differences of the mean current field were discussed.

The drifters deployed in 1993, generally drifted north-eastward, with an exception of one of them which drifted toward Java Island.　One of them that drifted north-eastward drifted into Flores Sea through Lombok Str., then drifted into Banda Sea, while other three drifters drifted along the coast of Solor Islands.

The averaged velocity field calculated for 2x2 degree grids illustrates a seasonal change southwest off Indian Peninsula; westward flows are dominant in the northern winter and currents with oposite direction(eastward flow) appears in spring.

1．研究目的

アジアモンスーンの年毎の変動は、東南アジア地域や、日本をはじめとした周辺地域の気候変動に大きな影響を及ぼすだけでなく、大気大循環を介して地球規模の環境変化にも大きく影響する。また、アジアモンスーン活動の異常は西部太平洋熱帯域の海洋変動を引き起こし、これが太平洋規模で発生するエルニーニョの引金となる可能性が高いと指摘されている。このような気候変動に密接な関連を有する海洋の観測研究は、太平洋の熱帯域においてはＴＯＧＡとして組織的な国際共同研究が実施され、大きな成果をあげた。しかし、アジアモンスーンの変動に重大な影響を及ぼすインド洋においては、従来、海洋観測網の展開が十分ではなく、海洋データの蓄積が最も少ない地域となっている。

平成元年度から開始された本研究によって、徐々にインド洋の観測データが蓄積されてきている。本課題では、インド洋特に熱帯海域に表面漂流ブイを展開して、当該海域にお

ける海流循環と海流が担う熱輸送量、及びその時間的（季節、経年）、空間的変動を把握するとともに、得られたデータを海洋構造の変動とアジアモンスーンの変動等の関係を解明するための研究に提供することを目的としている。

２．研究方法

インド洋熱帯域において、表面海流追跡用の漂流ブイを放流し、海流循環の実態を把握するとともに、ブイに取り付けられた水温センサーのデータや、他の研究課題によって取得される表層水温データと併せ、海流の担う熱輸送量を評価する。

平成５年度は、１１月に鹿児島大学の「かごしま丸」の協力を得て、ジャワ島の南方海域にブイを放流し、それらの位置を追跡した。

また、平成元年度以降本研究によって放流されたブイの軌跡から、緯度経度２度メッシュの平均流速を計算し、平均流速場の季節による差異を調べた。平均流速の計算にあたって、各メッシュを通過したブイがメッシュに入って最初に位置決定がなされた時刻、位置と、メッシュ内で一連の動きをした後、そのメッシュにおける最後の時刻、位置から、そのブイの平均流速を求めた。同一のブイまたは別のブイが、あるメッシュを複数回通過した場合は、それぞれのケースで計算されたブイの平均流速を単純平均して、メッシュ平均流速とした。

３．研究成果

(1) 平成５年度放流されたブイの軌跡

図１に平成５年度に放流したブイの流跡を示す。平成５年１１月にジャワ島南方海域に放流されたブイは、１個を除いて、大局的には東北東方向へ流れた。

最も西で放流されたブイ（番号１７２７５）は、放流後１か月ほど西南西に流れ、１２月中旬からは北上して、３月末にはジャワ島の南約１００ｋｍの位置に達した。

ブイ番号１７２７４は、放流後北西に流れ、ジャワ島南岸に沿って東に流れた後、１２月中旬にはロンボク海峡を抜けてフロレス海に入った。その後は平均速度約30cm/sで東に流れ、バンダ海を横断して２月上旬にはニューギニア島近海に達した。

ブイ番号１７２７８と１７２７６は、スンバ島とフロレス島の間の海峡を通り、さらにチモール島とソロール諸島の間の海峡に入った。１７２７８はその海峡内で発信が途絶えたが、１７２７６はさらに東へ流れ、３月上旬にはアラフラ海の中央部に達した。

ブイ番号１７２７７はスンバ島の南沖からチモール島北側の海峡に向い、１７２７８とほぼ同様の場所で発信が途絶えた。

(2) メッシュ平均流速

図２に平成元年から平成５年１月までの全データから計算した２度メッシュの平均流速場を示す。ブイデータは、この海域全体に一様に分布しているわけではないので、図２に示した平均流速は、異なる年、季節のデータによるパッチワークとなっていることに注意する必要がある。しかし、概ね流線としてつながるような流れが描き出されてはいる。ほとんどのメッシュで流速の東西成分が卓越しており、南緯６度付近を境界として、その北側では東向き、南側では西向きの流れとなっている。

図３に季節別（３か月毎）のメッシュ平均流速を示す。ここでは、北半球の四季に対応させ、便宜的に１月～３月を冬、４月～６月を春、７月～９月を夏、10月～12月を秋と呼ぶことにして、それぞれの季節について緯度経度２度メッシュの平均流速を示した。季節によって平均流速を計算できる海域がまちまちであるため、季節変化を詳細に見ることは難しいが、冬季の平均場において南緯２度から北緯２度にかけての海域で西向きの流れとなっているのに対して、同じ海域の春季の平均場は東向きの流れとなっているといった、季節による流れの場の違いが見られる。

４．考察

(1) 平成５年度放流のブイの軌跡について

第３節で述べたように、平成５年度に放流したブイは５個のうち４個がインド洋からイ

ンドネシア多島海の方へ流れた。石井ら（1992）は、過去の漂流ブイのデータをカナダの海洋データセンターから提供を受け、その軌跡を描いた。その図によれば、インド洋からインドネシア多島海へ流れたブイは見られない。また、筆者らの知る限りにおいて、インド洋からインドネシア多島海へ流れた漂流ブイの報告はない。

本研究において、平成３年５月に、今回の放流とほぼ同様の海域でブイが放流された。それらは同年８月ころまで投入海域付近にとどまり、８～９月以降西向きに流れた。今回の放流は11月に行われており、インドネシア多島海へは12月～２月に流れていることから、風系の季節変化に伴う表層海流の季節による違いが、平成３年度のブイと大きく異なる漂流経路をもたらしたものと推定される。

(2) メッシュ平均流速

図２の全体的な流れの様子は、南西モンスーン期の海流をより強く反映しているらしく、北東モンスーン期に存在するとされる北赤道海流、赤道反流、ソマリア沖を南西に向かう流れなどは見られない。図３の冬季の図において、インド半島南西沖に西向きの北赤道海流と思われる流れが描かれており、第３節でも述べたように、この海域の流れが春季には反転して東向きに流れる様子は捉えられている。

図３の夏季の図には、ソマリア沿岸に沿った強い北上流が描かれてはいるが、冬季の図ではデータの空白域となっており、モンスーンに伴って海流が反転する様子を捉えるには至っていない。

平成元年から５年間に放流された漂流ブイのデータの蓄積が進み、メッシュ平均の流速が計算できるようになった。季節による流れの傾向の違いについても、不十分ながら記述できるようになってきた。しかし、依然空白域が多く、またデータのある海域についてもより信頼できる平均像を理解するため、今後ともブイの放流を継続してデータの蓄積に努める必要がある。

５．引用文献

1) 石井、道田、寄高；アジアモンスーン機構に関する研究　平成３年度成果報告書、37-43(1992).

６．成果の発表

①口頭発表

発表者名	発　表　題　名	発　表　場　所	備考
Y.Michida H.Yoritaka	Surface Current Field in the Indian Ocean Measured with Surface Drifters	IOC/WESTPAC 3rd International Scientific Symposium, Bali, Indonesia, November 1994	予定

②その他

発表者名	発　表　題　名	発　表　場　所	備考
遠洋水産研究所 海上保安庁水路部 気象庁海洋気象部	インド洋の表面海流と表層水温	アジアモンスーン成果図集（アトラス）	

7　関係国との協力

平成５年度には、北京で開催された世界海洋データ発掘救済（ＧＯＤＡＲ）西太平洋ワークショップに出席し、インド及びロシアの海洋データセンターが保有するインド洋のデータについて、直接担当者から聴取した。

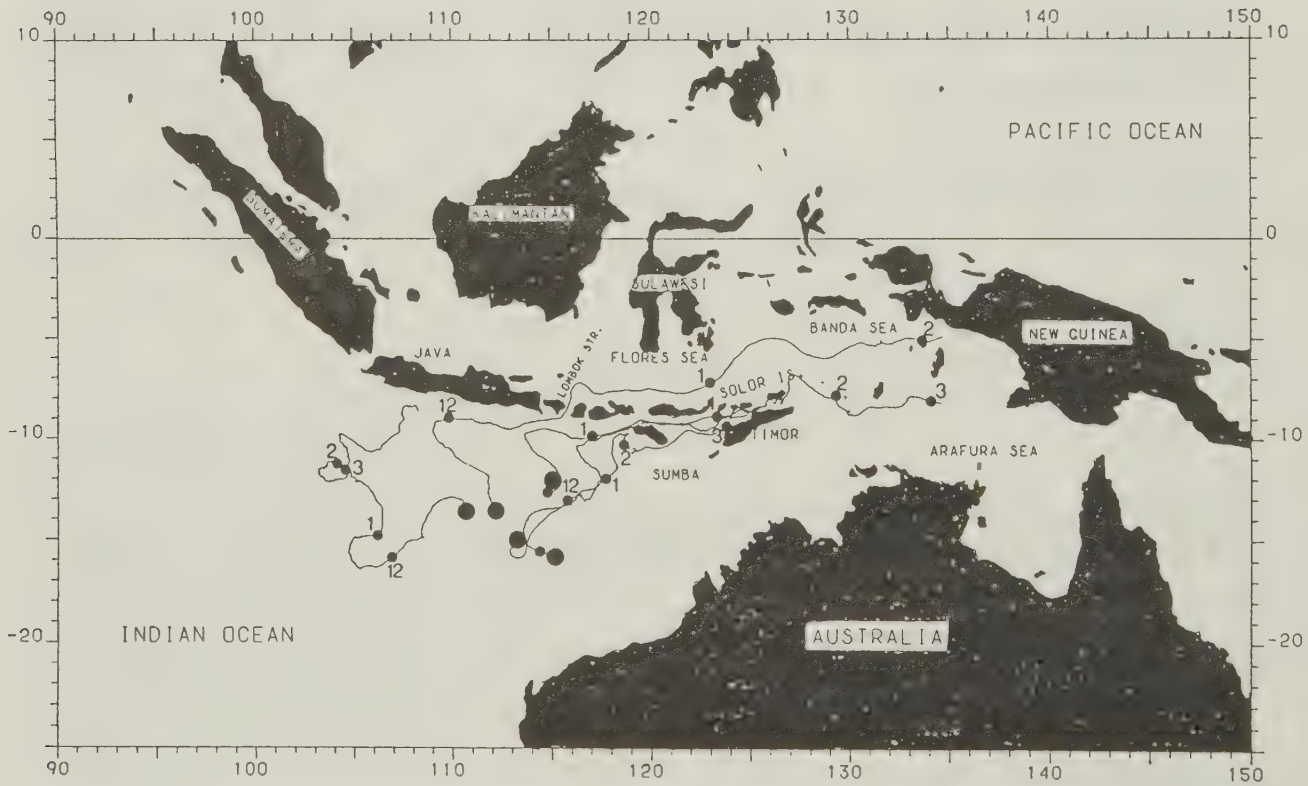


図１　平成５年度に放流されたブイの軌跡。大きな黒丸は放流地点を、小さな黒丸は添字の数字で表した各月のはじめの位置を示す。

Fig.1 Trajectories of the drifters deployed in 1993.　Larger dots show the positions of deployment, and the numbered small dots denote the first points of each month.

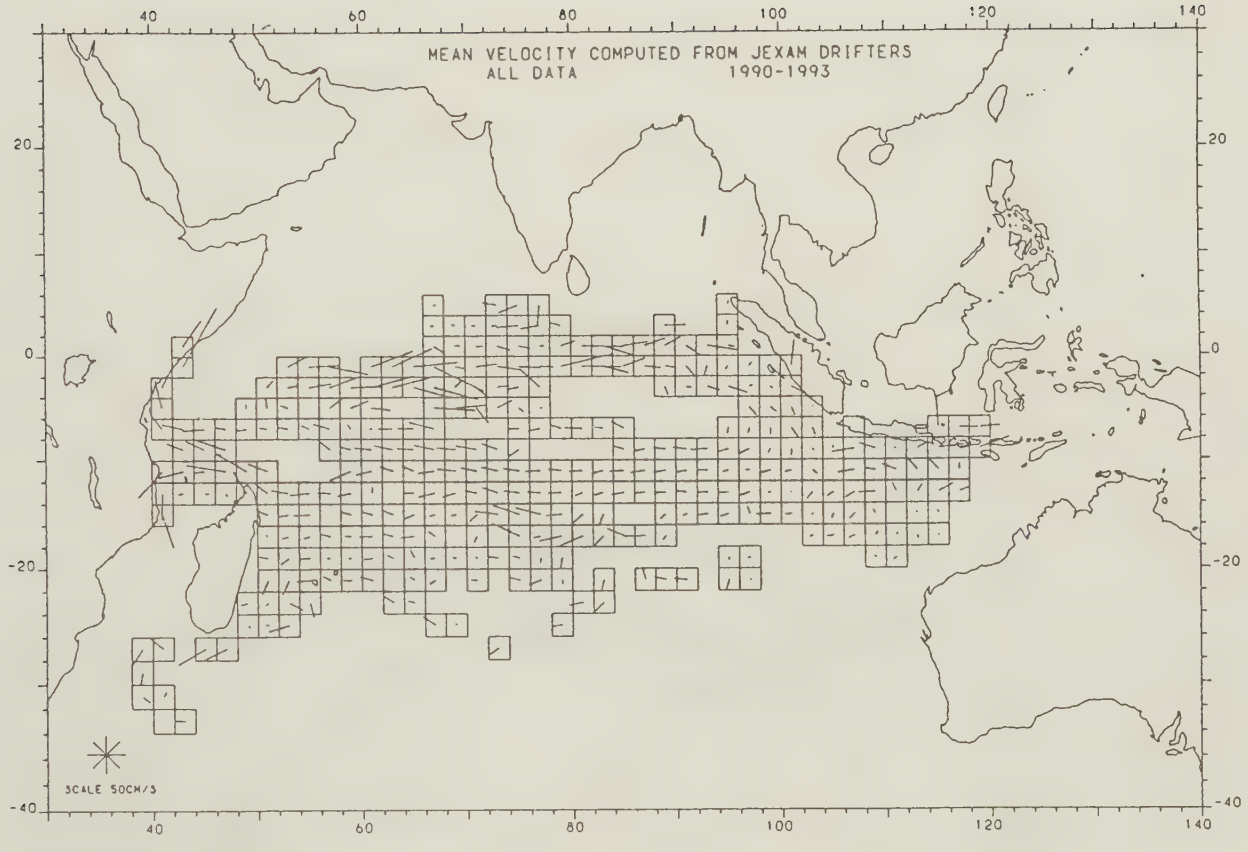
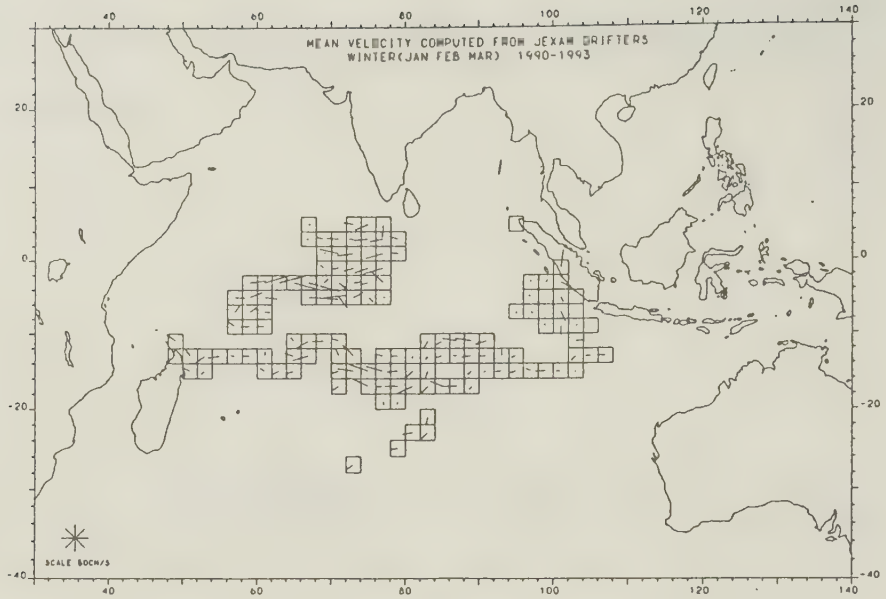


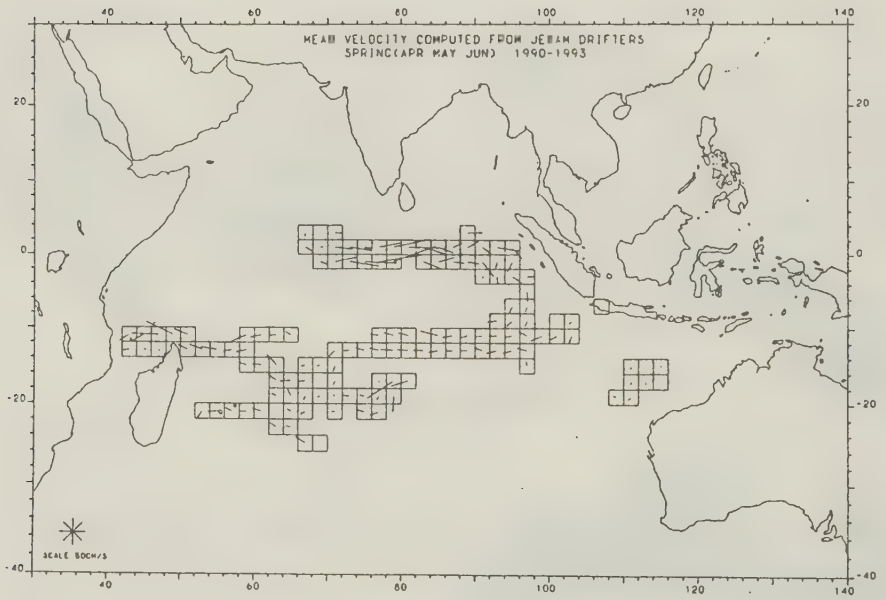
図２　平成元年度から平成５年度までに、本研究で放流された漂流ブイのデータから計算された緯度経度２度メッシュの平均流速。全期間の平均。

Fig.2 Averaged surface current velocities calculated for 2x2 degree grids from the location data of surface drifters deployed within JEXAM programme from 1989 to 1993.

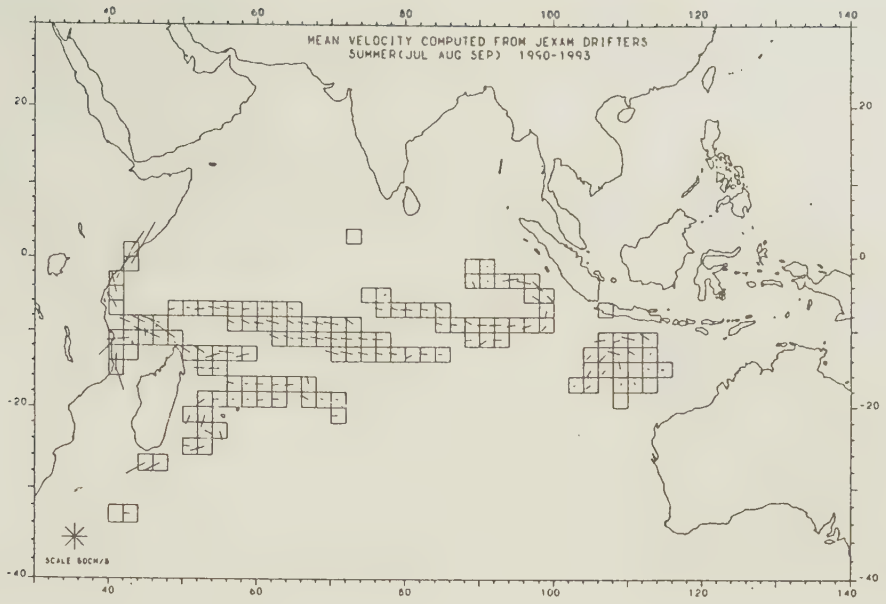
a)


MEAN VELOCITY COMPUTED FROM JEXAM DRIFTERS
WINTER(JAN FEB MAR) 1990-1993
SCALE 80CM/S
40
60
80
100
120
140
20
0
-20
-40

b)


MEAN VELOCITY COMPUTED FROM JEXAM DRIFTERS
SPRING(APR MAY JUN) 1990-1993
SCALE 80CM/S
40
60
80
100
120
140
20
0
-20
-40

c)



d)

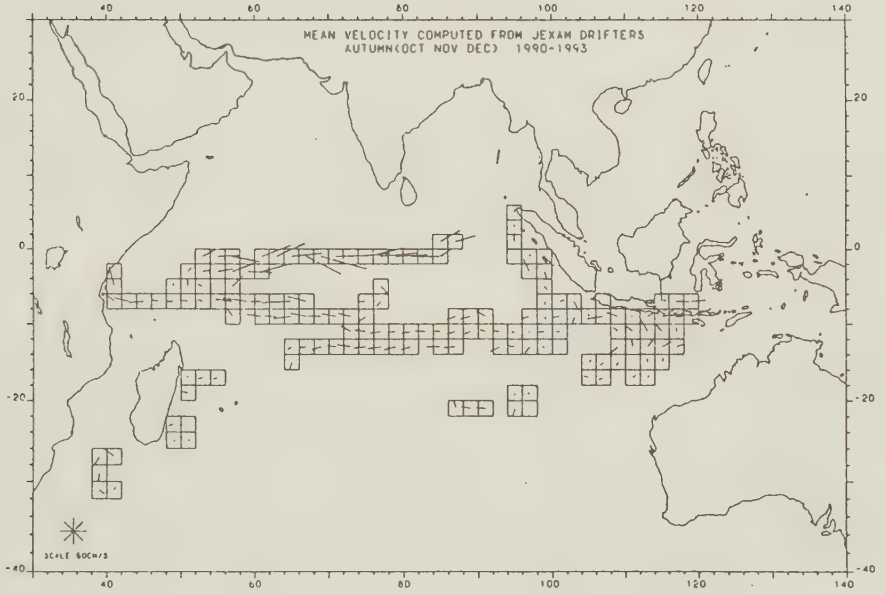


図３　図２に同じ。但し季節毎の平均値。便宜的に１～３月を冬、４～６月を春、７～９月を夏、10～12月を秋とした。

Fig.3 Same as Fig.2, except for the mean velocities for each season, a) winter (Jan - Mar) b) spring(Apr - Jun) c) summer(Jul - Sep) d) autumn(Oct - Dec).

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（1）海洋に関する観測研究
Observation in the Indian Ocean

③ 海洋データの標準化及び海洋データ交換の推進
Standardization of Oceanic Data and Promotion of Exchange of Oceanic Data and Information

海上保安庁水路部海洋情報課
（日本海洋データセンター）
藤原信夫, 馬場典夫
Japan Oceanographic Data Center
Hydrographic Department
Maritime Safety Agency
Nobuo Fujiwara, Norio Baba

(Abstract) The purpose of study is to provide a sufficient data set and timely information for promoting the JEXAM study. In order to suffice this goal, four sub-themes have been established; data standardization and quality control of JEXAM data; collection of existing data from other nations; establishment of international on-line network system for data and information exchange; and establishment of information exchange system.

JODC invited a staff of India National Oceanographic Data Center to Japan in Nov. 1993. We discussed the facility for studies of JEXAM, oceanographic programmes and data,etc.

A JODC staff participated in the 2nd workshop of Global Oceanographic Data Archaeology and Rescue project/IOC, and collected the information of oceanographic data resorces for JEXAM.

1．研究目的

本研究は、「アジアモンスーン機構に関する研究」（以降JEXAM）及びインド洋に関する調査研究の円滑かつ効果的な実施を図るため、当該研究に携わる研究者に対し、利用可能な最良のデータセット及び調査に係る情報を提供するためのものである。

この目的を達成するために、JEXAMの一研究項目である「海洋に関する観測研究」において取得される水温等の海洋データの標準化を行い、研究者間のデータ相互利用の円滑化を図る。また、JEXAMの各研究における基礎資料の充実を図るため、インド洋及び周辺海域における既存の海洋データ及び関連情報の収集を行う。さらに、得られたデータにより統計値の信頼度を増すことによってデータ品質管理の精度向上を図る。

一方、これらのデータ管理活動のほかに、情報流通の迅速化を図るため、データの管理状況及び海洋調査計画等に関する情報のオンライン入出力・検索が可能なデータベースを構築する。さらに、データ・情報提供に関する各国の協力を得やすくするため、各国国立海洋データセンター等とJODCとの間に海洋データ・情報交換のためのデータ情報ネットワークシステムを構築し、国内から国外まで一貫した海洋データ・情報交換のためのシステムを確立し、JEXAMにおける海洋データの迅速・容易かつ円滑な利用、さらに、その他の地球環境関係の各種プロジェクトでの有効利用に資するものである。

2．研究方法

(1) データの標準化、品質管理処理およびデータベースの構築

JEXAMの「海洋に関する観測的研究」で取得された海洋表層水温、海流データ及び漂流ブイデータが、本プロジェクトで円滑かつ迅速に活用されるには、データの標準化及びデータの品質管理処

理がなされている必要があり、また、データ利用を簡便に行うためには、これらのデータについてデータベース化されていることが不可欠であるため、データの標準化処理からデータベース化までの一貫したデータ処理システムを構築する。

(2) 各国の海洋調査状況、調査結果の管理状況調査及び海洋データの収集

JEXAMの「海洋に関する観測研究」の主たる対象海域であるインド洋及びその周辺海域は、周囲に海洋先進国が少ないこともあり、海洋調査自体が我が国周辺に比べ相当少ないうえ、データの収集・管理体制も十分に整備されているとは言いがたい。現在、JODCで把握している当該海域のデータ量は他海域に比べて著しく少なく、本プロジェクトの各研究における基礎資料として十分な量とは言えない。また、本プロジェクトで取得された海洋データの品質管理処理においても有意な処理結果を得るには、十分な歴史データが必要不可欠である。このため、当該海域における各国の海洋調査状況、データの管理状況の調査及び海洋データの収集を行う。

(3) 国際データ交換ネットワークの構築

JEXAM該当海域のデータを保有する各国海洋データセンターからデータ管理状況、データ提供への協力を得るためのインセンティヴとして、各国のデータセンターあるいはそれに準ずる機関との間に国際データ通信によるネットワークシステムを構築し、我が国が構築する各種情報及びデータに係るデータベースにアクセスできる体制を構築する。

(4) 研究プロジェクト情報交換システムの構築

本研究プロジェクトを円滑・効果的に推進するには、各研究の調査計画、調査結果等の情報が密にかつ迅速に交換される必要がある。このため、これらの情報を研究プロジェクト関係者が卓上から簡便に交換・検索できるシステムを構築する。

3．研究成果

(1) データの標準化、品質管理処理およびデータベースの構築

JEXAMの「海洋に関する観測的研究」で平成4年度に取得されたデータについては、現在各機関で解析中であり、現在までのところJODCに提出されていない。平成4年度までにJODCで受領している関係機関のデータを表1に示す。

(2) 各国の海洋調査状況、調査結果の管理状況調査及び海洋データの交換

①各国の海洋調査状況、調査結果の管理状況調査

ア．インド国立海洋データセンター職員の招聘

1993年10月31日から11月28日の間、インド国立海洋データセンター(INODC)の副所長であるサルプリア博士を招聘し、本プロジェクトの「海洋に関する観測的研究」関係者とインド洋及び周辺海域における海洋観測データに関する情報及びデータの交換について意見交換を行うとともに、日印両国におけるデータ管理システムについて意見交換を行った。インド国立海洋データセンターは日印の協力によるインド洋の海洋アトラス作成を強く望んでおり、本プロジェクトに対して強く興味を示すとともにインドが本プロジェクトに含まれていないことに関し遺憾の意を表していた。サルプリア博士から本プロジェクトの目的と本プロジェクトにおけるJODCの役割について理解を得、JODCとINODCの間では、本プロジェクトに貢献するため、政府間海洋学委員会(IOC)の国際海洋データ・情報交換システムに則ってデータの交換を行うことに合意し、まずは両国データセンターが保有するデータのインベントリを交換することとなった。

イ．全海洋データの発掘と救出プロジェクト

1994年3月8日～11日の間、中国の天津において開催されたIOCの推進する全海洋データの発掘と救出プロジェクト(GODAR)の第2回ワークショップに参加し、本プロジェクトの対象海域を含む全球的な歴史的海洋データに関する情報収集を行った。

GODARプロジェクトは1993年第17回IOC総会で採択された新プロジェクトで、観測野帳や

アナログ記録紙のままのデータや海洋研究者の間に出まわっていないデータを探し出しデジタル化するプロジェクトである。第1回ワークショップは北欧諸国の保有する海洋データを救済することを目的として1993年5月にロシアのオブニンスクにて開催され、第2回は太平洋西部の海洋データ救済を目的として開催された。本ワークショップではこれまでの活動状況について報告がなされ、ロシアでは全海洋で45万点のMBTデータ及び80万点の各層データが手書きの記録からデジタル化されていることが報告された。一般に、歴史的データが取沙汰されるとき、観測精度について意見されることが多いが、長期的な変動を見たとき観測精度以上の変動が捉えられており、歴史的なデータの重要性が説明され、GODARプロジェクトのさらなる推進が求められた。

各国の資金機関は、海洋関係機関が歴史データの発掘・救出を実施するため財政的援助を提供し、GODARの目的達成のためNODCにデータを提供するようにするとともに、西部太平洋海域の海洋データに関し、WESTPACのRNODCであるJODCにデジタル化作業のための最も高いプライオリティを与えるよう勧告がなされた。

GODARプロジェクトが収集の対象としているデータ項目を表2に示す。

JEXAM当該海域において、GODARプロジェクトにより、これまでに収集されデジタル化された主な結果を図1に示す。

GODARプロジェクトで収集、デジタル化された海洋データは、海洋の世界データセンターである米国国立海洋データセンターにおいて、重複を避け既存のデータセットと一緒にし、CD-ROMにより関係諸国に配布される予定である。

次回のワークショップは、インド洋を対象海域として1994年10月にインド国立海洋データセンターで開催される予定である。

②海洋データの交換

ア．各層データ

海洋の世界データセンターである米国国立海洋データセンターより、インド国立海洋データセンターから提供された1976～1988年の650測点の各層データを1993年8月受領した(図2参照)。

イ．漂流ブイデータ

漂流ブイデータの責任国立海洋データセンターであるカナダの海洋環境データサービス(MEDS)より本プロジェクトの対象海域であるインド洋及び太平洋の1990年10月～1993年9月までの1654個の漂流ブイデータを1993年10月受領した。

本プロジェクト調査対象海域に関係するデータセットについて、各国国立海洋データセンター間のチャンネルである国際海洋データ・情報交換システムIODEを通じ、平成5年度迄に入手したデータセットを表3に示す。

(3) 国際データ交換ネットワークの構築及び研究プロジェクト情報交換システムの構築

諸外国との情報交換のために必要なネットワークシステムとして、平成4年度にJODCの運用するパソコン通信サービスJOIDES上にその機能を追加し、諸外国の本プロジェクト対象海域における海洋調査実施状況および海洋データ管理情報の交換を実施している。

また、平成3年度に、JEXAMにおける海洋情報の国内外での円滑な交換、流通を実現するため、JOIDESにJEXAMのための電子掲示板および電子メール等の機能を整備し提供している

平成4年度におけるJEXAM関係者のJOIDES使用状況を表4に示す。

JOIDESの運用開始時は日本国内ではまだ海洋研究者間におけるコンピュータ通信の利用は乏しく、JOIDESが国内研究者間および国内研究者と海外の研究者間における情報の迅速な流布に貢献してきた。しかしながら近年、国際的なネットワークであるInternetの利用が国内研究者においても増加してきており、JOIDESとInternetとの相互接続が望まれている。また、ワイドエリアにおけるコンピュータネットワークでの利用が増加したことにより、ネットワーク上におけるデータ交換の有効性が認められ、JOIDESによるデータ流通サービスが望まれている。

JOIDESは、ユーザが所有する端末及び一般の公衆電話回線を利用して、全国各地や海外からも簡

単にアクセスすることができ、情報の迅速な流通には適している。しかしながら、一般公衆回線を利用しているため、通信上のエラーの発生頻度が高く、また保証される最大通信速度が2400bpsであるため実用的に転送できるデータ量は1MBが限度であることから、現JOIDESのシステム環境において、データの提供サービスを実施することは不適切である。ユーザの要望を満たすためには、Internetとの相互接続，接続可能通信速度の高速化、データ通信におけるデータフロー制御、データの圧縮手法等について検討する必要がある。

表1　　本プロジェクトの「海洋に関する研究」で取得されたデータ

Table1　Data list which JODC received from the investigator of JEXAM

機関名：遠洋水産研究所		受領年月日：1992/7/8			
データ種	船　名	期　間	海　域		測点数
DBT	チャーター	90/11/25～91/05/08	00-29N～09-47N	048-42E～068-53E	105
DBT	チャーター	90/12/22～91/02/24	02-56N～07-55N	060-10E～068-48E	58
DBT	チャーター	91/04/15～91/07/01	43-10S～40-49S	024-21E～035-19E	15
DBT	チャーター	91/10/02～91/12/26	18-44S～00-38N	008-20E～016-46E	12
DBT	チャーター	91/10/04～92/01/11	05-48S～06-23N	053-41E～068-17E	67
XBT	船川丸	91/10/31～91/11/09	13-57S～05-00N	094-12E～108-52E	36
XBT	愛知丸	91/11/19～91/11/22	09-26S～05-00N	092-58E～093-44E	24
XBT	えひめ丸	91/11/02～91/11/06	10-00S～05-01N	091-19E～093-08E	32
CTD	照洋丸	90/11/19～91/01/09	34-01S～12-57S	108-59E～121-09E	115
XBT	進洋丸	91/06/25～91/06/28	08-00S～05-30N	094-04E～094-53E	28
機関名：気象庁		受領年月日：1993/3/16			
データ種	船　名	期　間	海　域		測点数
XBT	鹿島山丸	90/10/07～90/11/08	05-34N～23-14N	060-06E～117-00E	44
XBT	鹿島山丸	90/11/21～90/12/25	05-37N～23-08N	060-09E～120-25E	63
XBT	鹿島山丸	91/01/07～91/02/10	05-47N～22-57N	060-27E～120-28E	47
XBT	鹿島山丸	91/02/27～91/04/03	05-40N～22-08N	061-21E～120-07E	44
XBT	鹿島山丸	91/06/03～91/07/10	05-26N～21-22N	061-34E～119-04E	39
XBT	鹿島山丸	91/07/24～91/08/26	05-45N～19-28N	064-05E～118-01E	17
XBT	鹿島山丸	91/09/09～91/10/03	05-55N～18-59N	064-52E～115-29E	15
XBT	鹿島山丸	91/10/25～91/12/01	05-38N～23-59N	059-34E～121-04E	44
XBT	鹿島山丸	91/12/13～92/01/11	05-40N～24-22N	058-43E～120-47E	32
XBT	鹿島山丸	92/01/26～92/03/21	05-47N～33-03N	064-05E～137-71E	17
XBT	鹿島山丸	92/04/03～92/05/10	05-39N～22-33N	060-28E～114-95E	22
XBT	鹿島山丸	92/05/26～92/07/01	05-02N～24-14N	057-14E～120-18E	22
XBT	Delmas Tourville	90/02/25　～90/05/24	28-28S～05-07N	040-47E～093-53E	60
XBT	Delmas Tourville	90/05/25　～90/08/23	28-49S～05-10N	041-05E～093-58E	71
XBT	Delmas Tourville	90/11/27　～91/02/21	28-57S～04-59N	039-54E～093-48E	69
XBT	Delmas Tourville	91/02/22　～91/06/02	29-10S～00-26N	039-19E～086-56E	24

表2　　GODARプロジェクトにおける収集データ項目

Table 2　Data items of GODAR project

分類	データ項目
Physical Parameters	Temperature, Salinity
Dissolved Gases	Oxygen, Hydrogen Sulfide, Dissolved Carbon Dioxide, Partial Pressure of Carbon Dioxide
Nutrients	Phosphate, Nitrate, Nitrite, Silicate, Ammonia
Chemical Parameters	pH, Total Alkalinity
Radioactive Species	Tritum, Carbon-14, CFC-11, CFC-12, CFC-13, Strontium-90, Cesium-134, Secium-137, CE-144, Radon-222
Biological Parameters	Phacopigments, Chlorophyii-a, Dissolved Organic Carbon, Particulate Organic Carbon, Particulate Nitrogen, Primary Production, Phytoplankton Counts, Zooplankton Counts, Zooplankton Biomass, Zooplankton Production, Bacterial Counts, Bacterial Production
Optical Parameters	Water Color, Water Transparency, Secchi Disk Depth, Mechanical BT Profiles, Expendaple BT Profiles

表3　IODEにより入手されたJEXAM該当海域に関するデータセット

Table3　Data sets in the JEXAM area collected through IODE

データセット名	Tropical Ocean Global Atmosphere(TOGA) Meteorological and Oceanographic Data Sets for 1985 and 1986
媒体・数量	CD-ROM 1枚
データ包括海域	熱帯･亜熱帯域
内容	TOGAプロジェクトで取得された1985年,1986年のデータ
データセット名	Marine Environmental Data Service Drifting Buoy Data
媒体・数量	磁気テープ　9巻
データ包括海域	太平洋・インド洋
内容	漂流ブイのRNODCであるカナダの海洋データセンターMEDSが保有している1980年～1991年までの太平洋及びインド洋における1774個の漂流ブイデータ。
データセット名	Global Ocean Temperature and Salinity Profiles
媒体・数量	CD-ROM 2枚
データ包括海域	全球
内容	米国国立海洋データセンターの保有する1900年～1991年1月までの水温塩分データ。
データセット名	インド国立海洋データセンター保有各層データ
媒体・数量	650点
データ包括海域	インド洋
内容	米国国立海洋データセンターがインド国立海洋データセンターから受領した1976年から1988年の各層データ
データセット名	Marine Environmental Data Service Drifting Buoy Data
媒体・数量	磁気テープ　5巻
データ包括海域	太平洋・インド洋
内容	漂流ブイのRNODCであるカナダの海洋データセンターMEDSが保有している1990年～1993年9月までの太平洋及びインド洋における1650個の漂流ブイデータ。

表4　JEXAM関係者の平成5年度におけるJOIDESの使用状況

Table 4　Operational status of JOIDES in the JEXAM concerned from April 1993 to March 1994.

	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
STORAGE	2250	2100	1980	2862	3131	3030	3131	3030	3131	3131	2828	----
SESSION	11158	28880	29521	17828	52848	19155	23058	18299	16392	20646	14749	----

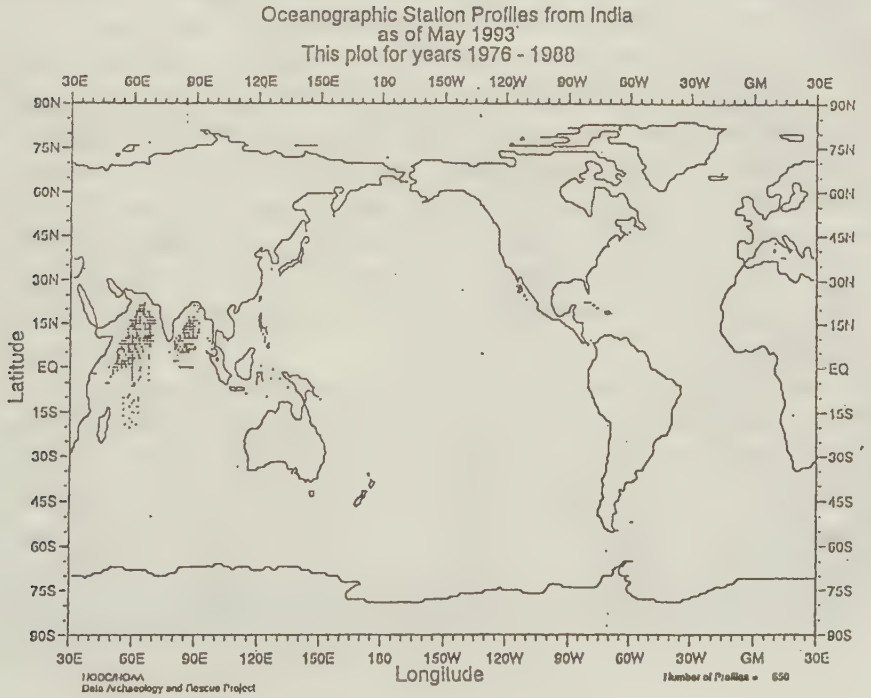
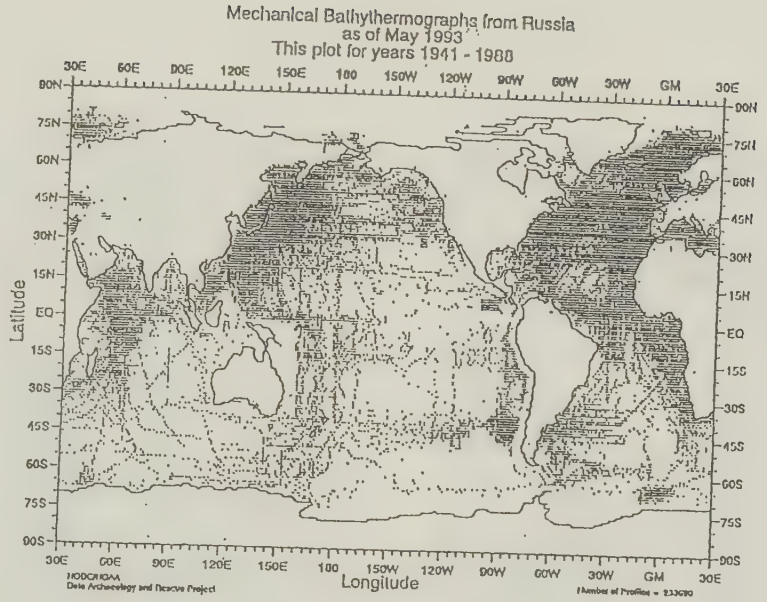
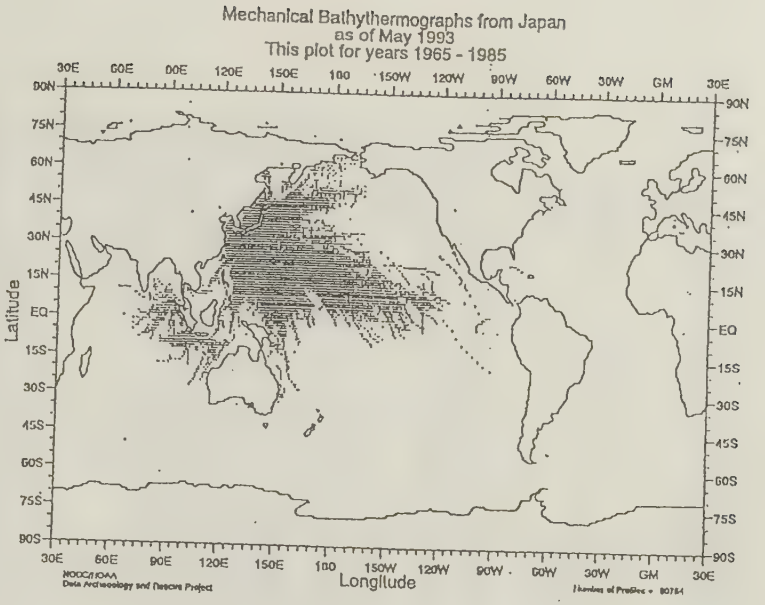
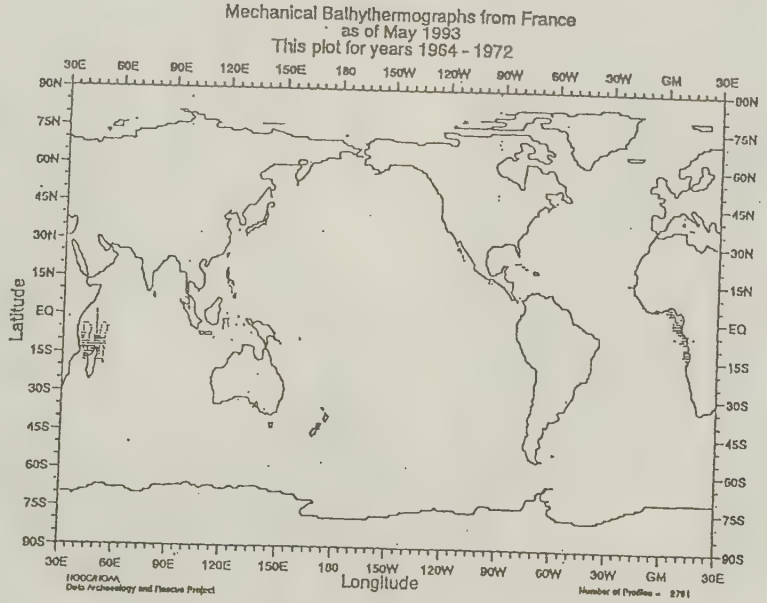

Oceanographic Station Profiles from India
as of May 1993
This plot for years 1976 - 1988
30E 60E 90E 120E 150E 180 150W 120W 90W 60W 30W GM 30E
90N 75N 60N 45N 30N 15N EQ 15S 30S 45S 60S 75S 90S
Latitude
Longitude
NODC/NOAA
Data Archaeology and Rescue Project
Number of Profiles = 650

図2　インド国立海洋データセンター各層データ

Fig.2　Station data of India National Oceanographic Data Center







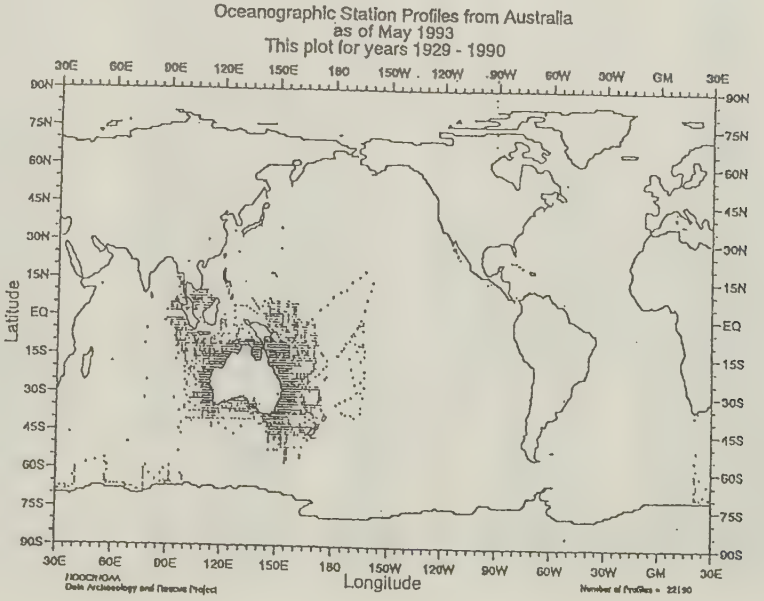


図1　GODARプロジェクトで収集された主なデータ

Fig.1　Major Data collected by GODAR project.

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(2)大気・陸面に関する観測研究
Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions

① 広域エネルギー収支に関する観測研究
Observation on Regional Surface Heat Budget

気象庁 気象研究所
萩野谷 成徳，木下 宣幸，加藤 真規子，新野 宏，
藤谷 徳之助，三上 正男，高藪 出，毛利 英明
Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency
S. Haginoya, N. Kinosita, M. Kato, H. Niino,
T. Fujitani, M. Mikami, I. Takayabu and H. Mouri

Abstract

【 Purpose 】

In order to clarify the mechanism of the Asian Monsoon caused through Air−Sea−Land interactions, the large−scale heat budgets over two different areas should be estimated: Tibetan−Himalaya Mountains Area and the Indian Ocean−South China Sea Area. Because of the vastness of the areas and of their unsuitable conditions for observations, observatories or ships in these areas are very sparsely distributed. Therefore the basic meteorological data to clarify the mechanism of the Asian Monsoon has been lacking. This study aims to collect these basic data and estimate large−scale heat budgets over the two areas.

【 Method 】

Since the heat budgets in two areas are studied by different methods, they are described separately.

(1)Tibet

The 4 sets of Automatic Weather Station (AWS) were transported from Japan to China in April 1993. Japanese experts carried out the training course of installation and operation of the instruments and of their data collection at Chengdu Institute of Meteorology in June 1993. AWS was established at Lhasa from the end of June to the beginning of July 1993, and the observation was started. Japanese experts attended the establishment. Chinese side finished the establishment of the remaining instruments by the beginning of August 1993 and then the observations were started. Chinese side finished the first data collection in October 1993, the second data collection from December 1993 to January 1994 and the third data collection from March to April 1994. Japanese side invited 4 Chinese scientists from February to March 1994. During their stay in Japan, Japanese side and Chinese side discussed the joint research program including routine data exchange and confirmed the items. On this occasion, Chinese side brought to Japanese side AWS data collected from July 1993 to January 1994. Details are shown in the annex of 2nd Working Group Meeting held on 3−4 March 1994 in Tokyo.

(2)Indian Ocean

Omega sonde observation (aerological observation) was carried out on the R/V Hakuho−Maru of University of Tokyo from August 1993 to September 1993 in the Indian Ocean. AWS observations were made on the Osaka−Maru (31,382 GT), which made six times round trips between Japan and Republic of South Africa through the South China Sea, the Strait of Malacca and the Indian Ocean in this fiscal year continued from last fiscal year. It began recording the temperature of cooling water for engine in April 1993. When the Osaka−Maru went into dry dock, the thermometer of cooling water for engine was checked against the standard solid stem thermometer. Observation data from April 1993 to March 1994 were analyzed.

【 Results 】

(1)Tibet
The AWS data of test observation at Lhasa for 5 days in July 1993 were collected and analyzed. The results from data analysis showed that the daily variation of air pressure is about 5 hPa and is in phase with the daily variation of air temperature. Heat balance analysis shows the existence of local circulation at Lhasa.
(2)Indian Ocean
Several parameters which describe the Atmospheric Boundary Layer's (ABL's) characteristics were obtained by the omega sonde observations. The relation among the parameters of ABL was examined. Quantitative feature of parameters averaged in each area are summarized. Average mixed layer height in the low latitude (20S−20N) is nearly equal to that obtained in the Pacific Ocean. The data of ABL over the Indian Ocean and the South China Sea area were obtained. These data are the very valuable for marine meteorology. Parameters of ABL were useful for making the ABL model over the Ocean. Precipitation data on board was examined to estimate rainfall over the Ocean.

１．研究目的

本研究では，大気を媒体とした海洋と陸面間の相互作用として発現しているアジアモンスーンの機構を解明するため２つの異なる地域における広域のエネルギー収支を評価する．そのうちの１つはインド洋・東南アジア地域の海面フラックス，もう１つはチベット・ヒマラヤの山岳地帯の地表面フラックスである．現在これらの地域・海域は，対象域の広大さや観測環境の厳しさ等から観測体制が整備されておらず，気象の基本的要素に係わるデータの収集が必ずしも十分に行われているとはいえない．アジアモンスーンの機構解明にはこれらの基本的データを収集することが是非とも必要である．本研究ではこれら基本的データを現地観測により収集し，それに基づいて広域熱収支解析を行うことを目的としている．

２．研究方法

今年度は以下の２つの項目について研究を実施した．なお，それぞれの項目を研究対象地域名で呼ぶことにする．
(1)チベット
①山岳用ＡＷＳ（Automatic Weather Station，自動気象観測装置）を４台中国に移送した（1993年4月）．
②ＡＷＳの操作方法のトレーニングを中国（成都）で実施した（1993年6月）．
③チベットの４ヶ所の観測地点にＡＷＳを設置し，観測を開始した．このうち拉薩（ラサ）の設置にあたっては日本人研究者が立ち会った（1993年7月）．
④拉薩に設置したＡＷＳで得られた試験観測データ（1993年7月１日～5日の観測分）を解析した．
⑤チベット地域のルーチン観測所のデータの交換について中国側（チベット気象局）と交渉した．
⑥中国人研究者を日本に招聘した．今年度行われたチベット観測について日中両者の進捗状況の報告と問題点の検討，来年度の観測計画の検討，および中国側が持参したＡＷＳデータのチェックを行った（1994年2月～3月）．
(2)インド洋
①大阪商船三井船舶株式会社の定期コンテナ船「大阪丸(31,382t)」に船舶用ＡＷＳを搭載し，インド洋航路の観測を継続して実施した．
②エンジン冷却水温度の連続記録が取れるように，エンジン冷却水温度計の出力を分岐して記録計を設置し，計測を開始した（1993年4月より）．
③大阪丸ドック入りの時に大阪丸のエンジン冷却水用温度計をチェックした（1993年9月）．
④東大海洋研の「白鳳丸(3,987t)」に乗船して，インド洋上でオメガゾンデによる大気境界層の観測を実施した（1993年8月～9月）．
⑤1993年4月から1994年3月までにインド洋航路で得られたデータを解析して，航路に沿っ

た海上気象データおよびエネルギーフラックスの季節毎の緯度変化を調べた.
⑥大阪丸のＡＷＳ降水量データを解析し，洋上の降水量分布を求める方法について検討した.

３．研究成果

(1)チベット

①ＡＷＳの設置

1993年8月上旬までにチベットの４地点にＡＷＳを設置し，観測を開始した．そのうち拉薩の設置には日本人研究者が立会い，残り３地点（日喀則，那曲および林芝）は中国側単独で設置した．第１表に設置地点の緯度，経度，標高および設置月日を示す．第１図にチベット自治区内の３８地点（全観測地点）の気象官署の位置を示す.

②データの回収

中国側が実施したデータ回収の日時は次の通り．第１回目：1993年10月10日～10月29日，第２回目1993年12月20日～1994年1月9日．これらのデータは1994年2月～3月に招聘した中国人研究者が持参した．回収時に発見したトラブルの内容と対策については第２回日中合同作業部会の報告書の中の付属書にまとめられている.

③拉薩のデータの解析

拉薩の試験観測データを解析した．第２図に7月1日から5日のデータの時系列を示す．地上の平均風速は2ms^{-1}前後と弱いのに対して，Gust（２秒以上続いた観測時間内（１０分間）の最大風速）は9m/sにも達している．気温は日中の最高気温が28°C以上，最低気温が9°C以下であった．日較差は15°Cに達した．この時期の月平均気温は16°C程度である．湿度は日中40%から夜間90%まで変化している.

平均気圧は652～3hPaで日変化の様子は気温の日変化によく対応しており，その振幅は5hPa以上に達している．大気潮汐による気圧の日較差は約1.0hPaであるが，最大値と最小値をとる時刻がそれぞれ局所時で22時と04時である（Kuwagata et al.,1990）．よって，それらの寄与を差し引いても振幅は4%程度しか変化しない．第３図に各指定気圧面（500,400および300hPa）のジオポテンシャル高度の変化量から求めた，それぞれの平均高度面の気圧変化を示す．上空の気圧変化量の寄与を差し引いた地上気圧の変化量△Ｐs*$_t$を以下の式で求めた.

$$\triangle Ps^*_t = (P_t(z_s) - P_{t-12}(z_s)) - (P_t(z_h) - P_{t-12}(z_h)) \frac{\overline{P(z_s)}}{\overline{P(z_h)}}$$

ここでｔは00Zまたは12Z，z_sは拉薩の標高，z_hは上空の標高，¯は時間平均値である．上式右辺第１項は拉薩の気圧変化量，第２項は上空の気圧変化量を拉薩の高度の気圧変化量に変換したものである．z_h=5850m（比高h=2200m）のとき，すなわち500hPa面高度のとき｜△Ｐs*｜～4.5hPaとなる．またz_h=7550m（h=3900m，400hPa面高度）のとき｜△Ｐs*｜～5.0hPaとなる．拉薩は東西方向に走る谷底に位置している．谷の長さは40km，谷底の幅は7～8kmでほぼ平坦である．山の稜線の幅は25km，稜線までの平均比高は1500m～2000mである．上で求めた振幅は日本国内の盆地や谷状地形において，晴れて穏やかな日に局地循環がよく発達した時の値とほぼ同程度である（Kuwagata et al.,1990）.

観測が始まった頃は既に雨期に入っており，６月３０日から７月５日までの積算雨量は56.2mmになった．これは例年のこの時期の月降水量の1/3強に相当する．雨は毎夜降っており，夕方と明け方に多い．なお，拉薩の地下水位は約1mであった．南中時の全天日射量は大気層が薄い（平地の約2/3）ため1200Wm^{-2}以上にもなっていた．拉薩は地球上で日射エネルギーが最も大きな場所の一つである．従来の観測データから太陽定数を越える観測値も報告されている（Zhang et al., 1988）．第４図に地温の時系列を示す．日中と夜間の地温日較差は大きく，地表面で25°C（日中35°C，夜間10°C）になった.

毎時の地表面熱収支解析の結果を第５図に示す．正味放射量は日中は強い日射量により800W•m^{-2}に達している．一方，夜間は 100W•m^{-2}であった．顕熱は日中は最大でも100W•m^{-2}と小さく，夜間はほぼ零である．気温と地表面温度差が大きい（日中は13°Cに達する）割に顕熱が小さいのは風速が小さい（日中でも2m•s^{-1}以下）こと，空気密度が小さいこと，土壌が毎夜の降水により湿っているため，潜熱の割合が大きくなっていること等の原因が考えられる．地中伝導熱Ｇの大きさは｜Ｇ｜～100W•m^{-2}で１日平均をとると日中と夜間とでほぼバランスしている．残差項である潜熱は400W•m^{-2}以上に達し，日中・夜間とも蒸発の状態であった．夜間の正味放射量ＲｎはＧとほぼバランスしているが，日中のＲｎは潜熱ιＥ，Ｇおよび顕熱Ｈの３者とバランスしている．特にιＥの寄与が大きい．

拉薩上空の日中の気柱の熱収支をルーチンの高層観測データを用いて求めた．境界層高度を気温の分布から推定し，気柱の加熱量(320W•m^{-2})を求めた．これは第１近似として地表面からの顕熱，大気自身の放射による加熱，一般場の沈降による加熱および水平方向からの移流熱量によって決まる．大気の放射による加熱率はKatayama(1967)より日中は-0.4K/12hrとした．上空の温度分布から一般場による沈降を零として，地表面顕熱(～＋50W•m^{-2})と放射加熱量(－20W•m^{-2})を与えて，水平移流による加熱量を求めると，290W•m^{-2}となった．これは大気の全昇温量の90%にあたり，大部分が拉薩の谷間の局地循環による移流の寄与であることを示している．気圧の日較差でも触れたが拉薩は谷間に位置するため局地循環がよく発達する．熱収支解析からもその様子が明かに示された．

④データ交換

チベット地域のルーチン地上気象観測所３８ヶ所のうち第１表の４ヶ所のルーチン観測所を含む２４ヶ所のデータが入手できる見通しである．また，チベット地域の高層気象観測所に関する情報も入手できる見通しである．

(2)インド洋

①高層観測

海面からのフラックスは大気の構造とその運動に影響をおよぼしている．これは特に大気境界層において顕著である．観測によって大気境界層の温度構造を調べ，大気中の熱輸送の機構を明らかにする必要がある．観測機器はオメガゾンデを使用した（萩野谷＆藤谷，1989）．本装置はゾンデの位置を求めるのに電波航法システムの１つであるオメガ電波を利用している．このため従来のパラボラアンテナ式追尾装置よりもコンパクトな装置で，しかも動くプラットホーム上において気球の位置を求めることができる．オメガゾンデにより海上から500hPaまでの気圧，気温，湿度，風向および風速の鉛直分布を測定した．観測期間は1993年8月16日から9月10日である．合計79回の観測を実施した．第６図に○印で白鳳丸正午の位置（日本時間）を示す．図中の数字は日付．■印は1991年10月から1993年9月までの大阪丸の毎正午の位置（日本時間）である．第７図にオメガゾンデで観測された仮温位（水蒸気の影響を考慮した温位）と比湿の鉛直分例を示す．図中の記号は大気境界層を特徴付けるパラメータである．第８図に大気境界層の各種パラメータの関係を示す．仮温位で定義した混合層高度と比湿で定義したそれとの間には系統的な差異はない（ａ）．20°S以南では大気混合層高度は1500m以上に達している．平均すると1000m程度である．一方，20°S～20°Nではせいぜい1000mで，平均すると600m程度である（（ｂ），（ｃ），（ｄ））．この理由は大気混合層モデル（萩野谷＆藤谷，1990）から，海面からの顕熱フラックスの大きさ，大規模場の沈降量，大気自身の長波放射による冷却量，大気混合層上部の温位勾配などの違いによる．今後定量的に検討する必要がある．混合層中の仮温位は海面の仮温位よりも約3°C低くなっている（ｅ）．この差が浮力を生じて，混合層を形成する源となっている．一方，比湿は海面の方が8g/kg大きく，常に海面から水蒸気の補給が行われている（ｆ）．大気境界層上部の仮温位勾配の頻度分布は5°C/kmをピークにしている．20°S以南では10°C/kmの大きな値に達している．20°S～20°Nでは20°S以南よりも小さな温位勾配になっている（ｇ）．一般に，低緯度地帯に比べて高緯度地帯の方が温位勾配が大きくなっている．温位勾配は大気の放射による加熱・冷却と降水に伴う潜熱の解放等による熱バランスで決まっているが，この差異に関する定量的な議論は省略する．第２表に各パラメータを海域毎に平均した値をまとめた．以上の結果はいままで太平洋熱帯海

域で得られた結果（杉村ほか，1988と1993）と矛盾していない．

②雨量観測

大阪丸船上で測定した雨量データを解析した．雨量データに対して風速による捕捉率の補正（Koschmieder，1934）をし，付近の陸上の観測データと比較して補正係数を求めた．第９図にその結果を示す．大阪丸船上の雨量は陸上地点に比べ1/3.94倍と小さくなっている．これは比較した陸上地点が離れていること，日雨量の比較であること，船体の影響が及んでいる等の原因が考えられる．今後検討すべき課題である．

４．考察

(1)チベット

①拉薩の試験観測データおよびルーチンのデータを解析した結果，拉薩の気象は，標高が高いことにより平地の気象に比べて様々な点が異なっていることが明らかになった．標高の影響は空気密度が平地の2/3であること，大気が乾燥していること，大気中の光路長が短いことに反映され，それ故，強い日射が観測されたり，大気の加熱冷却による気温の日変化幅が大きくなっている．また拉薩は，谷間に位置するため谷間の局地循環の影響により，気圧の日較差が大きくなっている．気柱の熱収支結果からも局地循環の影響を確認できた．

(2)インド洋

①インド洋上の大気境界層を解析した結果，混合層高度，大気境界層上部の温位勾配，海面温位と混合層内温位の差，海面比湿と混合層内比湿の差はそれぞれ太平洋の結果と類似していることが明らかになった．

②船上の雨量観測値を陸上地点のそれと比較したところ４倍近い差が見られた．この係数に普遍性があるか今後データを蓄積して調査する．また日雨量の比較ではなくひと雨雨量の比較をして検討する．

(3)今後の研究計画

①チベット

中国側回収データの解析を進める．中国に設置した装置の維持に努める．ルーチン観測所のデータを収集する．現在，ＡＷＳを設置してある地点はいずれも東チベット気象官署の敷地内である．チベット西部へ装置の展開を検討する．

②インド洋

引続きインド洋航路の船舶に観測装置を搭載して観測を実施する．

５．引用文献

Katayama, A., 1967: On the radiation budget of the troposphere over the northern hemisphere (Ⅲ). J. Meteor. Soc. Japan, **45**, 26−39.

Koschmieder, H., 1934: Methods and results of definite rain measurements. Ⅲ . Danzig report(1). Monthly Weather Rev. **62**, 5−7.

Kuwagata, T., M.Sumioka, N.Masuko and J.Kondo, 1990: The Daytime PBL Heating over Complex Terrain in Central Japan under Fair and Calm Weather Conditions. Part Ⅰ :Meso−scale Circulation and the PBL Heating Rate. J. Meteor. Soc. Japan, **68**, 625−638.

Zhang Jijia, Zhu Baozhen, Zhu Fukang, Weng Duming, Suo Guowu, Lu Junning, Peng Yongqing and Wang Yuanzhong, 1988: Advances in the Qinghai−Xizang Plateau Meteorology. The Qinghai−Xizang Plateau Meteorological Experiment (1979) and Research. Scientific Press, Beijing, pp.268.

萩野谷成徳，藤谷徳之助，1989: 高層気象観測装置（MARWIN RAWINSONDE SET MW12）を使って，天気，**36**，99-103.

萩野谷成徳，藤谷徳之助，1990: 熱帯域における大気境界層の熱収支，天気，**37**，397-408.

杉村行勇ほか，1988: 熱帯域におけるフラックスの精密観測，科学技術振興調整費昭和６２年度成果報告書「太平洋における大気・海洋変動と気候変動に関する国際共同研究」，21-29.

杉村行勇ほか，1993：熱帯域におけるフラックスの精密観測，科学技術振興調整費平成３年度成果報告書「太平洋における大気・海洋変動と気候変動に関する国際共同研究」，23-28.

６．成果の発表

1)国内

発表者名	発表題名	学協会誌名等	備考
（論文） 萩野谷成徳 小幡紀一 木下宣幸	啓風丸で観測された水温日変化についての熱収支的考察	日本気象学会 「天気」Vol.40,197-205,1993.	
萩野谷成徳 木下 宣幸 加藤真規子 新野 宏 藤谷徳之助 三上 正男 高藪 出 毛利 英明	広域エネルギー収支に関する観測研究	科学技術庁研究開発局 海洋開発及び科学技術調査研究費平成４年度成果報告書「アジアモンスーン機構に関する研究」，印刷中.	
（講演） 萩野谷成徳	広域海面熱収支の自動観測(4)	日本気象学会 1993年春季大会講演予稿集，237，1993.	
萩野谷成徳	広域海面熱収支の自動観測(5)	日本気象学会 1993年秋季大会講演予稿集，53，1993.	
萩野谷成徳 木下宣幸 ほか	チベットにおける自動気象観測	日本気象学会 1993年秋季大会講演予稿集，56，1993.	

７．関係国との協力

本研究のうちチベット高原における気象観測は中国国家気象局との共同研究で行われている．今年度は４名の中国人研究者を招聘した．段廷揚（Duan Tingyang，成都気象学院 副院長），趙衛（Zhao Wei，中国気象科学研究院 院長助理），湯緒（Tang Xu，中国国家気象局 科技教育司科技発展処 副処長）および索郎多吉（Suolang Duoji，西蔵自治区気象局 局長）の各氏である．この内１名は気象研究所（気象研）招聘，２名は気象研と科学技術庁防災科学技術研究所（防災科研）の共同で招聘，残り１名は防災科研が招聘した．招聘者とチベット現地観測について今年度の成果報告と問題点を検討し，来年度の観測計画について検討した．日本（東京）で開催された「アジアモンスーンに関する日中共同研究」に関する第２回合同作業部会（１９９４年３月３日～４日）において前出の招聘者との間で行われた打ち合せ事項の検討と承認がなされた．

以上の詳細については本合同作業部会の報告書の中の附属書にまとめられている．

第１表　ＡＷＳ観測地点一覧

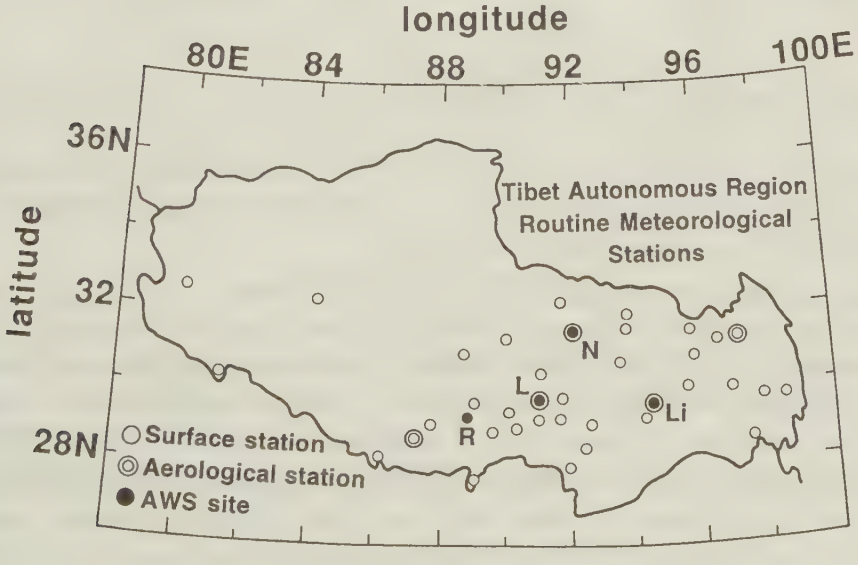
Table 1 Detail information about AWS observation site.

Site name	English name	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Date of installation
拉薩	Lhasa	29° 40'N	91° 08'E	3649	28 June - 5 July 1993
那曲	Nagqu	31° 29'N	92° 04'E	4507	21 July - 27 July 1993
日喀則	Rikeze	29° 15'N	88° 53'E	3836	10 July - 17 July 1993
林芝	Lingzi	29° 34'N	94° 28'E	3000	3 Aug. - 9 Aug. 1993

第２表　各パラメータを海域毎に平均した値．（　）内は標準偏差．（１），（２）および（３）は第８図（ｂ）と（ｃ）の図中の番号に対応．

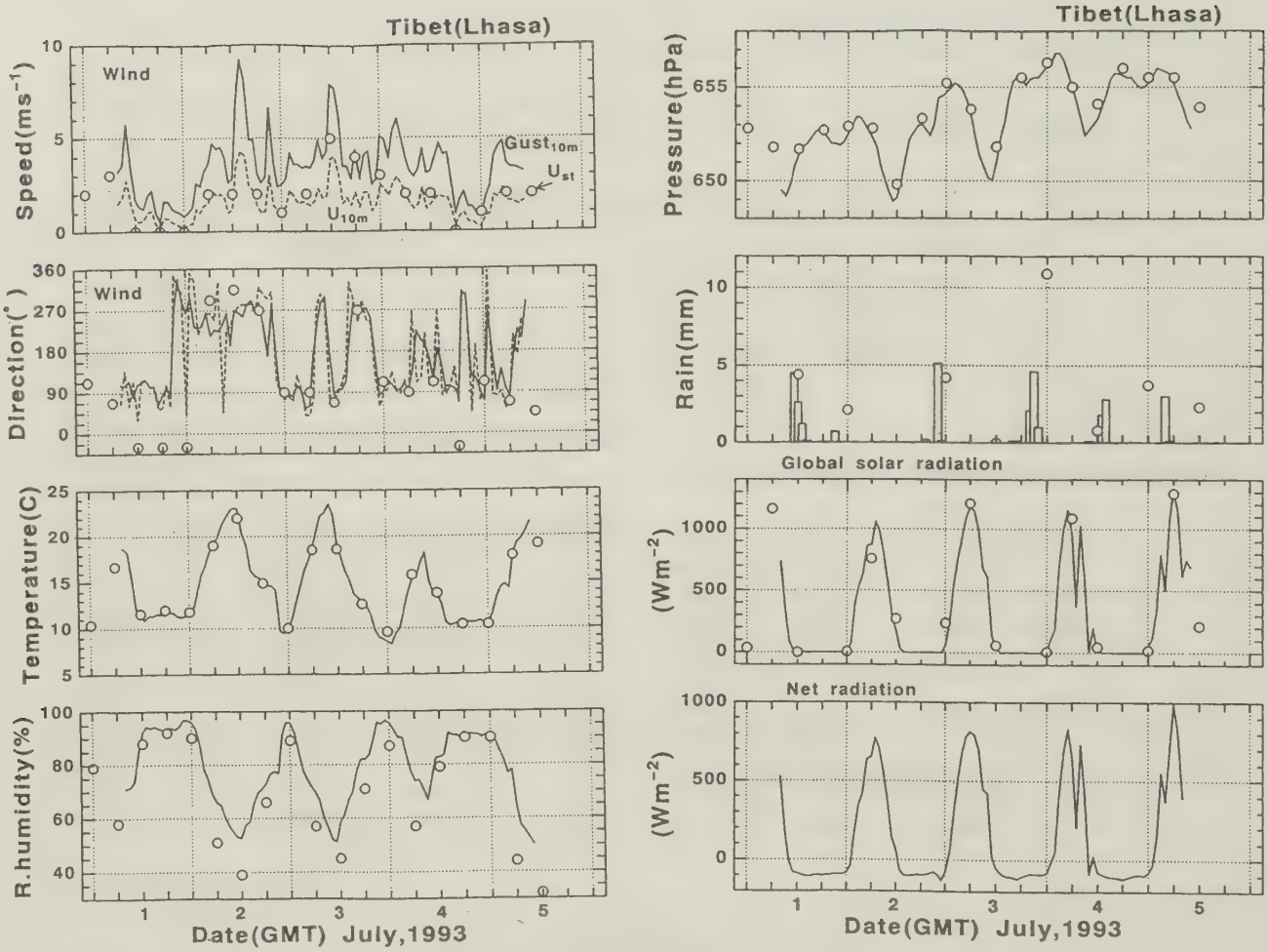
Table 2 Regional average of parameters on ABL. ( ) indicates the standard deviation. (1), (2) and (3) correspond to the same number in Fig.8 (b) and (c).

	area	$h_{\theta v}$ (m)	h_q (m)	γ (K/km)	$\theta_{vs}-\theta_v$ (K)	q_s-q (g/kg)
(1)	Indian Ocean 25S-20S	997 (332)	1011 (357)	6.15 (1.85)	3.35 (1.04)	7.73 (1.25)
(2)	Indian Ocean 20S-5N	788 (182)	632 (225)	4.87 (1.08)	2.26 (0.90)	8.43 (1.10)
(3)	South China Sea 4N-20N	494 (166)	488 (231)	4.27 (0.47)	2.83 (0.74)	9.08 (0.64)



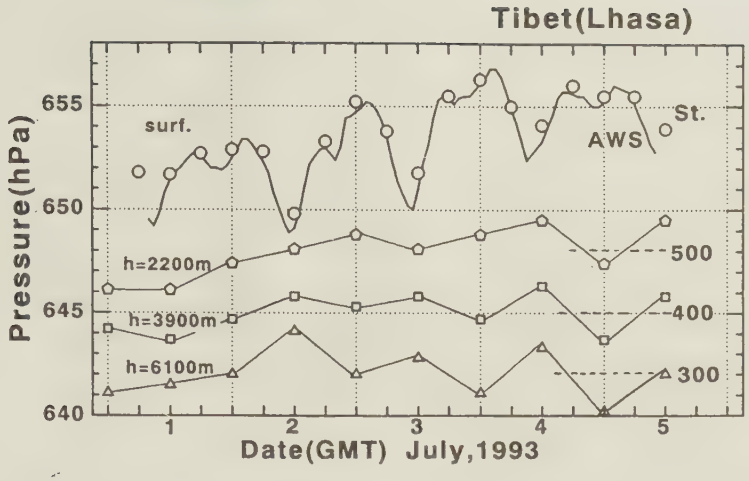
第１図　チベット自治区管轄気象官署

Fig.1 Meteorological observatory in Tibet autonomous region.



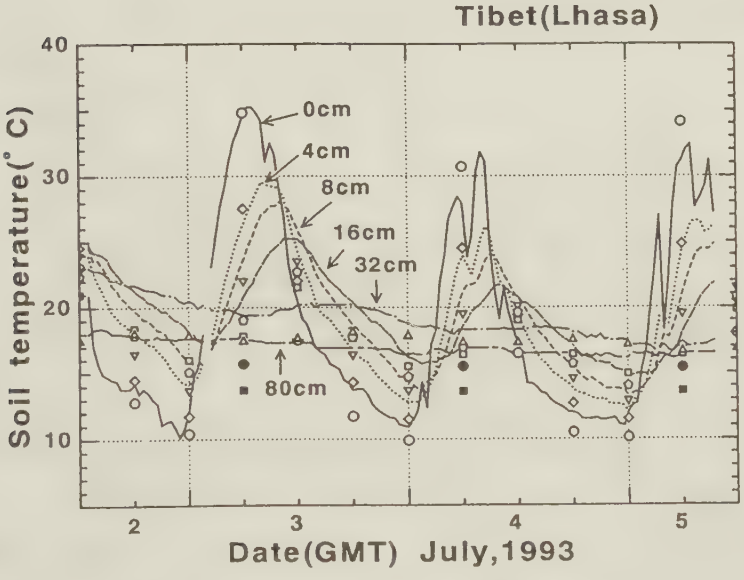
第２図　試験観測データ時系列．○印は拉薩気象台ルーチンデータ，実線と破線および棒グラフはＡＷＳデータ．ＡＷＳデータは特に断わりがない限り1時間平均値．ルーチンデータは6時間毎の測定値．風向の実線は10分毎のサンプリング値の6個平均値（1時間平均），破線は1時間毎に抽出した瞬間値．●印はcalm．ＡＷＳ雨量データは1時間積算値，ルーチンデータは12時間積算値．全天日射量は1時間積算値．

Fig.2 Time variation of meteorological elements during the test observation at Lhasa. Circle indicate the routine data at Lhasa meteorological observatory. Solid and broken lines and stick type graph are AWS data. AWS data are hourly average data unless specified. Routine data are measured every 6 hours. Solid line of wind direction is hourly value averaged every 10 minutes sampling value. Broken line is instantaneous value in every hour. Closed circle is calm condition. Rainfall data of AWS is hourly accumulated value, that of the routine is 12 hourly. Global solar radiation is hourly accumulated value.



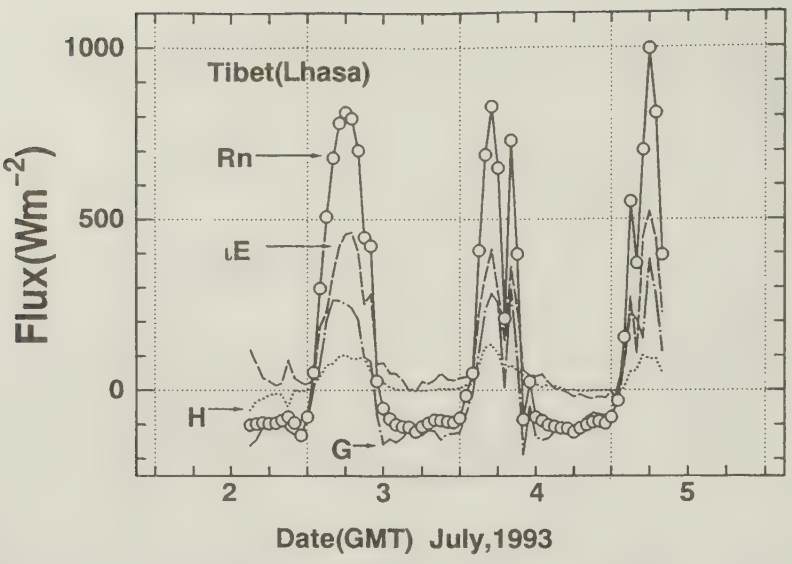
第３図　拉薩気象台上空の気圧変化．⬠，□および△はそれぞれ拉薩からの比高h=2200m（～500hPa面），3900m（～400hPa面）および6100m（～300hPa面）高度の気圧変化．

Fig.3 Variation of the upper air pressure at Lhasa. The mark of pentagon, square and triangle are the pressure variation at 2200m level above Lhasa (about 500hPa level), 3900m (about 400hPa) and 6100m (about 300hPa), respectively.



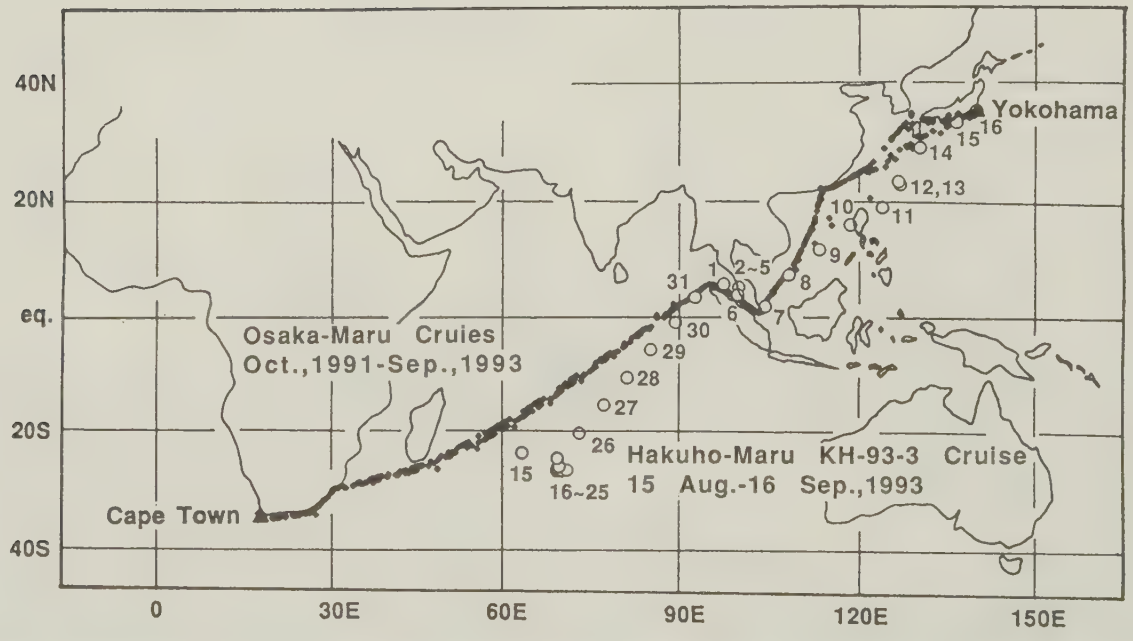
第４図　地温データ時系列．ＡＷＳデータは30分毎のサンプリングデータの１時間平均値．マークはルーチンデータ．○：地表，◇：深さ5cm，▽：10cm，⬠：15cm，□：20cm，△：40cm，●：80cm，■：160cm．

Fig.4 Time variation of soil temperature. AWS data is hourly value averaged every 30 minutes sampling value. Mark indicate the routine data; open circle: surface, diamond shape: 5cm in depth, inverted triangle: 10cm, pentagon: 15cm, open square: 20cm, triangle: 40cm, closed circle: 80cm, closed square: 160cm.



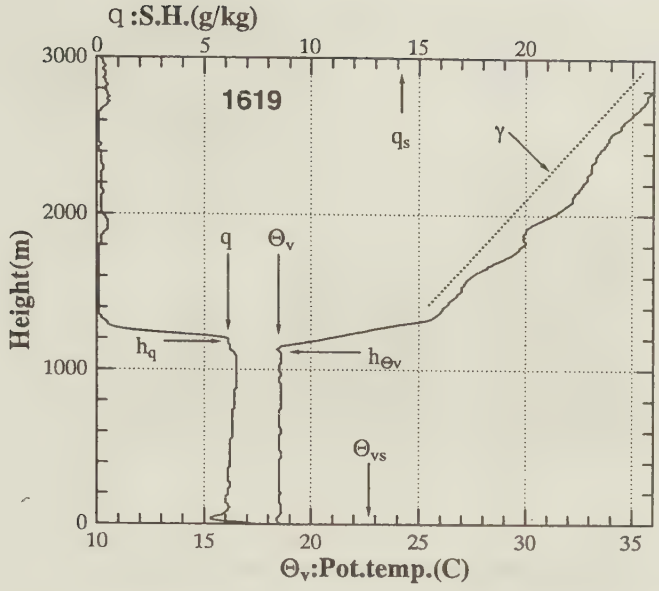
第５図　試験観測データ熱収支解析結果

Fig.5 Results of heat budget analysis in test observation.



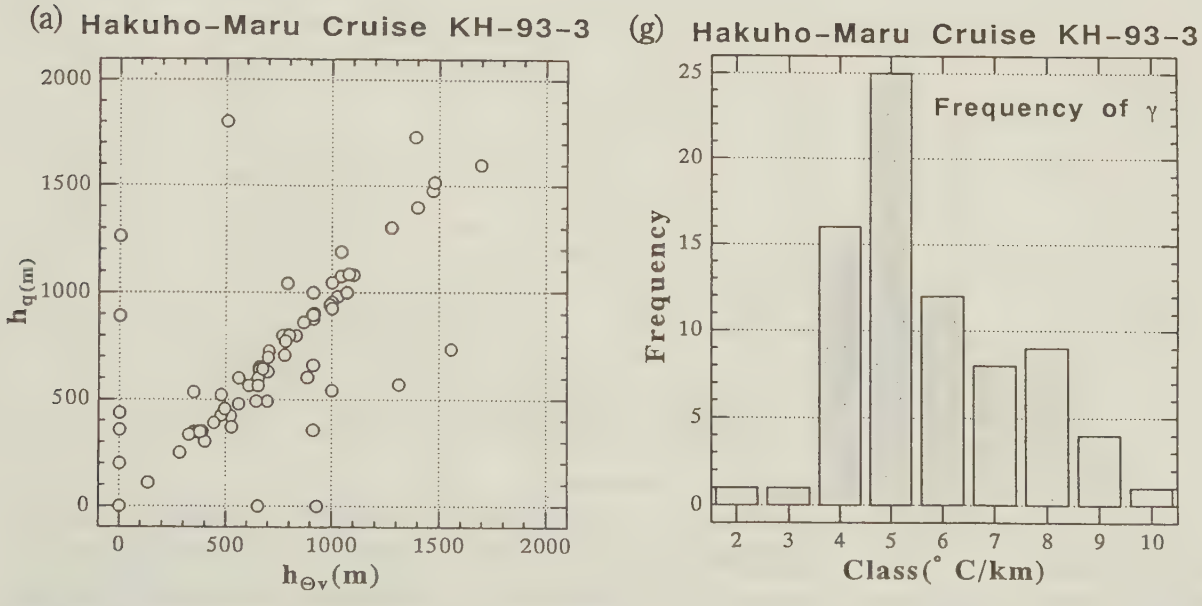
第６図　航路図．記号は日本時間正午の位置．○印は白鳳丸，■印は大阪丸．数字は日付．

Fig.6 The cruise course. The marks indicate the position at noon JST. Open circle indicate the Hakuho−Maru, closed square the Osaka−Maru. The number indicates the date of JST.



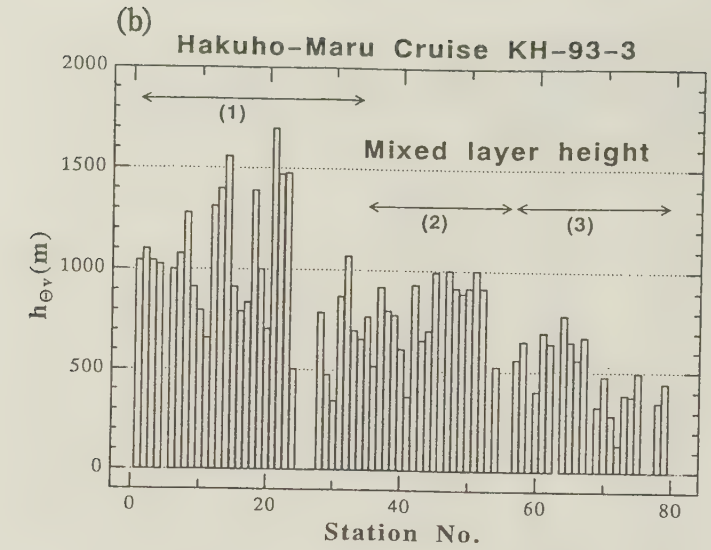
第７図　仮温位と比湿の鉛直分例．図中の記号は大気境界層を特徴付けるパラメータ．ｈΘｖ：仮温位で定義される大気混合層高度，ｈｑ：比湿で定義される大気混合層高度，γ：大気境界層上部の仮温位勾配（点線），Θｖ：混合層内の仮温位，ｑ：混合層内の比湿，Θｖｓ：海面温度に対応した仮温位，ｑｓ：海面温度に対応した飽和比湿．

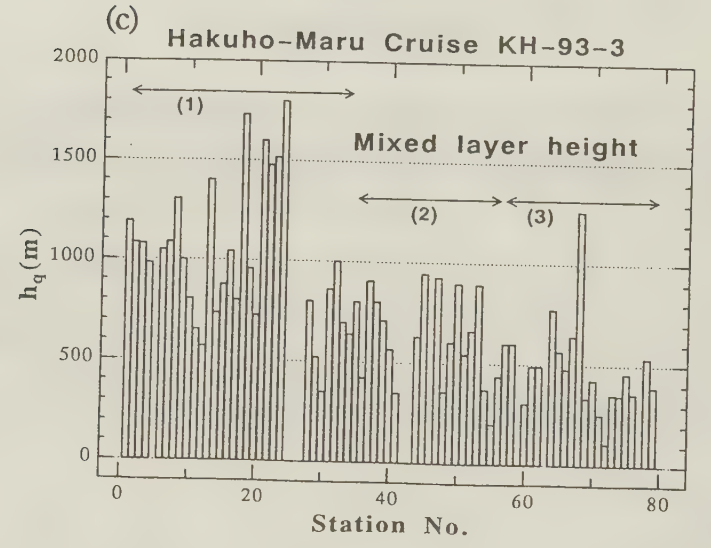
Fig.7 Example of virtual potential temperature profile and specific humidity. Symbol indicates the characteristic parameter of ABL. h θ v: height of mixed layer defined by virtual potential temperature. hq: height of mixed layer defined by specific humidity. γ : virtual potential temperature gradient of upper part of ABL(dotted line). θ v: virtual potential temperature of mixed layer. q: specific humidity of mixed layer. θ vs: virtual potential temperature corresponded to SST. qs:saturated specific humidity corresponded to SST.

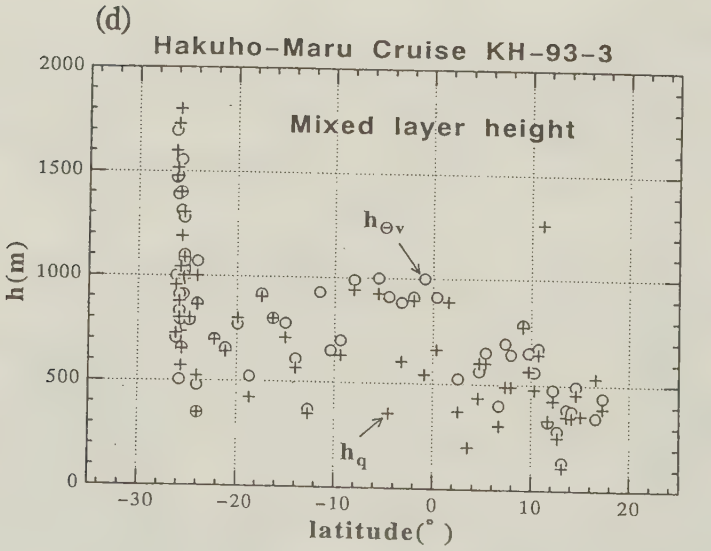


第８図　大気境界層の各種パラメータの関係．（ａ）ｈΘｖとｈｑの関係，（ｇ）γの度数分布．

Fig.8 The relation among the parameters of ABL. (a): the relation between h θ v and hq and (g): frequency distribution of γ .

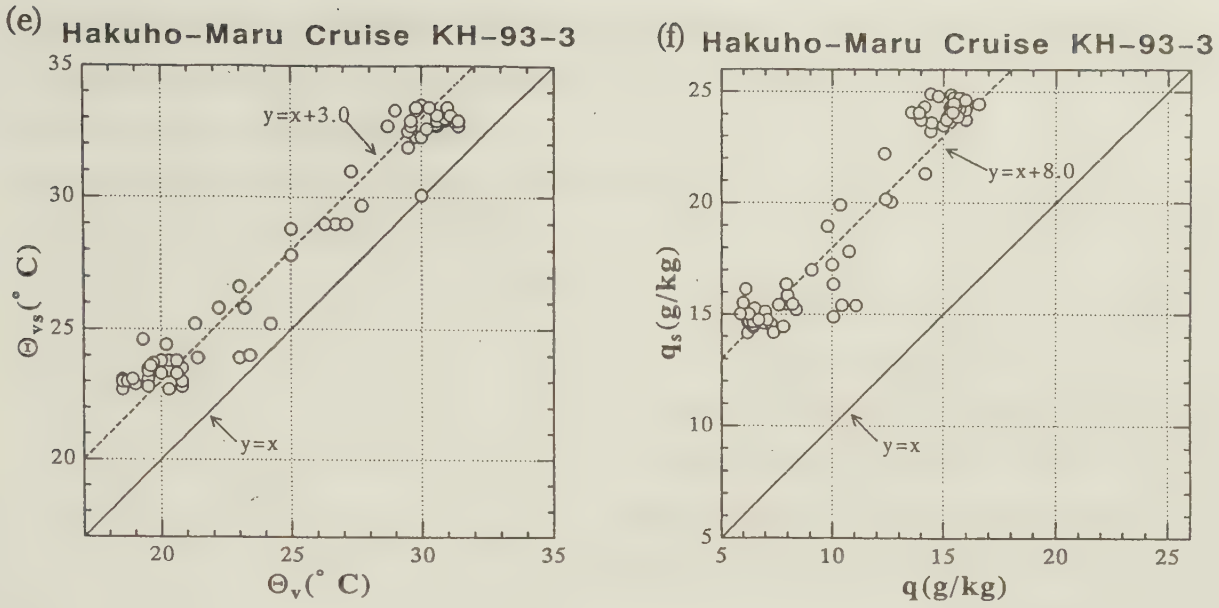






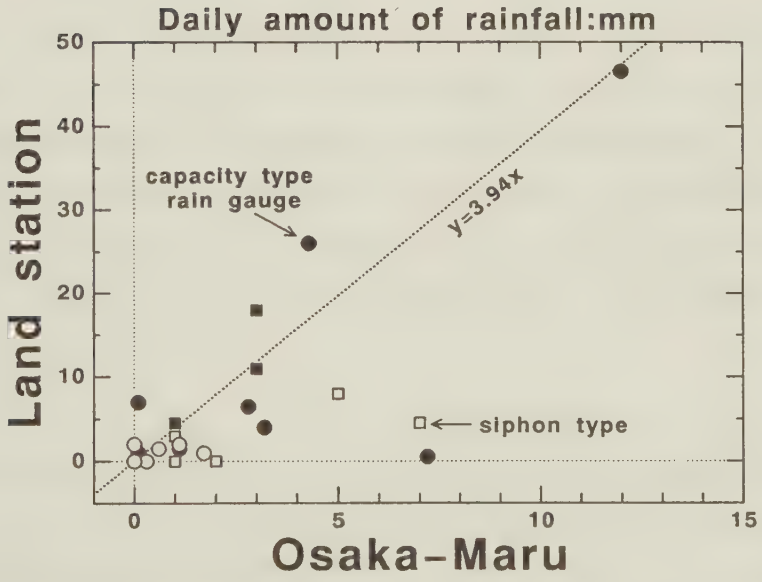
第８図　続き．（ｂ）ｈΘｖと観測番号．（１），（２）および（３）はそれぞれ20°S以南のインド洋，20°S以北のインド洋および南シナ海のデータを表す．（ｃ）ｈｑと観測番号，（ｄ）混合層高度の緯度分布．

Fig.8 Continue. (b): station number vs. h θ v, where (1) is the data to the south of 20S in the Indian Ocean, (2) that to the north of 20S and (3) that in the South China Sea. (c): station number vs. hq, (d): latitudinal variation of mixed layer height.



第８図　続き．（ｅ）ΘｖとΘｖｓの関係，（ｆ）ｑとｑｓの関係．

Fig.8 Continue. (e): θ v vs. θ vs, (f): q vs. qs.



第９図　日雨量データの比較．大阪丸船上のデータは風速による捕捉率の補正済み．陸上データは入港時の付近の気象台データ．黒塗りは前線性の雨，白抜きはそれ以外の雨．

Fig.9 Comparison of the daily amount of rainfall. Osaka−Maru data is corrected value concerning the collection efficiency on wind speed. Land station are the nearest meteorological observatory when Osaka−Maru is in port. Closed marks are the rain with front. Open marks are other conditions.

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（２）大気・陸面に関する観測研究

Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions

①　広域エネルギー収支に関する観測的研究

Observation on Regional Surface Heat Budgets

郵政省　通信総合研究所
大崎　祐次、中村　健治、増田　悦久
Communications Research Laboratory
Ministry of Posts and Telecommunications
Yuji Ohsaki, Kenji Nakamura, and Yoshihisa Masuda

(Abstract) A wind profiler for observing lower atmosphere winds was developed. The frequency of the wind profiler is 1.3725 GHz and the peak power is 1 kW. For observational flexibility, the pulse length can be set at 0.5, 1.0, and 2.0 μsec. That is, a pulse length of 2.0 μ sec will be used, when the backscattering echo is very weak or a long observation range is required, a shortest pulse length of 0.5 μ sec will be used, when good range resolution is required.

The wind profiler system was shipped to Okinawa Radio Observatory, Communications Research Laboratory, in 1992, and has been operating from Nov. 1992 to Nov. 1993. This paper investigates the statistical properties of vertical and horizontal wind speeds, and of wind direction using wind profiler data measured in this period. It considers the seasonal and daily variation of the measured quantities. It is found that the standard deviations of the hourly mean of the vertical and horizontal wind speeds increase in the daytime during winter and spring (Figs. 1 and 2). This may be due to increase air convection in the daytime. It is also found in summer that the daytime wind direction is reversed at night (Fig. 3). This may be an effect of land and sea breezes. These results can give fundamental information for understanding regional surface heat budgets.

1. 研究目的

地表面に達した太陽エネルギーは、主に熱、蒸発および長波放射の変換過程を通して大気と地中に供給される。これらフラックスは、地上から大気上空へ乱流および対流を介して輸送されるが、土壌の含水量、植生、地形の状況等の様々な境界条件により大きく変化し、パラメータ表示することが困難とされている

ラジオゾンデ等の現用観測装置は、特定点の詳細な観測を可能にするが、広域の分布をモニターする事は困難である。広域のフラックス分布が測定できないために気象の平均状態を予報する事は困難とされている。

現在、広域のフラックス分布測定を可能にするリモートセンシング技術が存在しないことから、早急な開発が望まれている。レーダおよびライダを用いて測定が可能になれば、航空機や人工衛星に搭

載することにより、広域のフラックス分布の観測が可能になる。

ウィンドプロファイラおよびウィンドプロファイラ/RASSは、レーダの距離分解能とビーム幅で囲まれた体積平均のフラックスをレーダビームに沿って高い時間分解能で提供する可能性を秘めている。

第１期の目標として、ウィンドプロファイラを開発し、散乱波強度（乱流強度）と３次元風速高度分布の観測を可能にすると同時に、気温高度分布の同時観測を可能とするRASSの基本システムを開発整備し、レーダの試験観測、性能改良、２次データ処理ソフトの開発等を行ってきた。

平成４年度後期から乱流をターゲットとして３次元風速の高度分布の連続観測を行っている。平成５～６年度の二年間には、沖縄の台風時にも風速高度分布の観測を可能にするためにアンテナドームの整備と探査高度を拡大するための高利得アンテナに取り替える等の改良を行ってきている。

第２期の平成７～８年度には、擾乱時でも安定した気温高度分布の観測を可能とするためRASS用音波アンテナ複数台を整備し、擾乱時での顕熱フラックス観測を可能にする計画である。また、引き続きレーダを用いた散乱波強度と風速高度分布の連続観測に加え気温高度分布データを収集し、境界層と自由大気の結合等に注目した大気運動および熱的構造の解析を行う。また、広域エネルギー分布の観測を可能とするリモートセンシング技術の開発を目標とし、レーダによるフラックス観測（第１に鉛直風速分散データから求める方法、第２に鉛直風速と気温データを用いる方法、第３にレーダ反射率を用いる方法）の可能性について検証実験を行う。

データ解析および実験を通して得られた知見をもとに、将来の航空機または衛星搭載リモートセンシング技術の開発と広域エネルギー収支の観測的研究に寄与する。

2. 研究方法

通信総合研究所沖縄電波観測所においてウィンドプロファイラを1992年11月から1993年11月まで連続的に運用し、5分間隔で高度0.6～4.8 kmの範囲を0.3 km毎に観測した。観測されたデータは、季節依存性を調べるために四つの季節（春期: 3～5月、夏期: 6～8月、秋期: 9～11月、冬期: 12～2月）に分けて解析された。観測回数は、春期が約12000、夏期が約18000、秋期が約15000、冬期が約14000である。各高度毎のデータは、鉛直風速、水平風速および風向の成分に分けられ処理された。

3. 研究結果

図1に各季節毎の鉛直風速の標準偏差の時刻依存性を示す。この図を作成するにあたっては、１時間に観測された１２個のプロファイルデータの平均値を求め、各データからその平均値を差し引く操作を行った。これは、１日毎の平均値の変動の影響を無くすためである。図1(a)と図1(d)に示される春期と冬期の日中と夜間の標準偏差を比較した場合、日中の標準偏差が夜間の標準偏差よりも大きいことが分かる。これは、日中に鉛直風速の変動が大きくなり、夜間にその変動が小さくなることを示すものであり興味深い。この現象の原因は、日中の太陽からの熱放射のために大気の対流運動が活発化するためであろう。夏期と秋期に関しては、このような現象はみられないが、その理由は現在のところ明かではない。

図2に各季節毎の水平風速の標準偏差の時刻依存性を示し。この図を作成するにあたっても、鉛直風速の場合と同様に１時間平均値の差し引きを行った。図2(a)と図2(d)に示される春期と冬期の日中

と夜間の標準偏差を比較した場合、鉛直風速の場合と同様に、日中の標準偏差が夜間の標準偏差よりも大きいことが分かる。このことが日中の太陽からの熱放射による大気の対流運動の活発化によるものであるかは、現在のところ明かではない。

図3に夏期の高度2.1 kmにおける時刻毎の風向と風速を示す。この図に示す時刻毎の風向は、日中は南方向であるが、夜間には北西方向に変化する。一般的に海岸付近では、海面と陸地の暖まり方と冷え方の相違によって、日中は温度の低い海面から温度の高い陸地に向かって海風が吹き、夜間は温度の低い陸地から温度の高い海面にむかって陸風が吹く。このように日中と夜間で風向が逆転する風を海陸風と呼ぶ。沖縄電波観測所は南方が海に面しているために、図3の風向の逆転現象は海陸風によるものだと考えると定性的には理解できる。

4. 考察

沖縄電波観測所においてウィンドプロファイラを連続的に運用し、鉛直風速、水平風速および風向の変動の季節依存性および時刻依存性に着目してデータ解析を行った。その結果、鉛直風速と水平風速の変動が日中に大きくなることが分かった。このことは、日中の太陽からの熱放射による大気対流運動の活発化と関係があると予想される。また日中と夜間で風向が逆転する現象は、海陸風によるものと予想される。これらの結果は、広域エネルギー収支解明のための基礎的資料となろう。今後は、RASSも併用することにより風向・風速高度分布に加えて気温高度分布を観測し、ラジオゾンデ等のデータと比較することにより、ウィンドプロファイラの測定精度の評価を行う予定である。

5. 参考文献

特になし。

6. 成果の発表

① 学会誌における発表

1) 国内誌

無し。

2) 外国誌

発表者名	発表題目	発表誌名	備考
T. Adachi, T. Tsuda, Y. Masuda, T. Takami, S. Kato, and S. Fukao.	Effects of the acoustic and pulse length ratio on the accuracy of radio acoustic system (RASS) temperature measurements with monochromatic acoustic pulses.	Radio Sci., Vol. 28, No. 4, 571-583, 1993.	

T. Tsuda, T. Adachi, Y. Masuda, S, Fukao, and S. Kato.	Observations of tropospheric temperature fluctuations with the MU radar-RASS.	J. Atmos. Ocean tech., Vol. 11, No. 1, 50-62, 1994.	

② 学会誌以外における誌上発表

無し。

③ 口頭発表

発表者名	発表題目	発表会議	年月日
大野　裕一 増田　悦久	ウィンドプロファイラによる大気乱流観測	擾乱媒質中の波動伝搬と補償光学研究会	93/8/24
中村　健治	雨の衛星リモートセンシング	1993年日本気象学会秋季大会	93/10/26
大野　裕一、増田　悦久 中村　健治	CRLウィンドプロファイラとオメガゾンデとの比較観測実験	1993年日本気象学会秋季大会	93/10/27
増田　悦久	電波と音波を用いた気温高度分布の計測	第85回通信総合研究所研究発表会	93/11/10

④ 出願特許等

無し。

7. 関係国との協力

科技庁促進費による外国との協力関係は、当プロジェクトに関連して現在はない。しかし、郵政省は、平成５年度から以下の目的、即ち「アジア地域の地球環境の変化のメカニズムを解明するための電磁波による観測技術を途上国と共同で開発し、途上国で急速に進んでいる経済開発に伴って引き起こされる環境劣化の観測および環境保全策に資する。」として、「アジアにおける地球環境計測技術の共同研究の推進」と題した独自のプロジェクトを進めている。このプロジェクトに基づき、郵政省通信総合研究所とタイ国モンクット王工科大学との共同研究として、通総研が開発したウィンドプロファイラを同大学構内に設置し、乱流強度、乱流をターゲットとした３次元風速、ウィンドプロファイラ/RASSを用いた気温高度分布の観測を行っている。この共同研究の期間は、平成６年１月～平成８年３月まで予定されており、タイ国と沖縄とに設置されたレーダを用いて収集したデータの比較解析を行い、広域エネルギー収支に関する知見を得る。

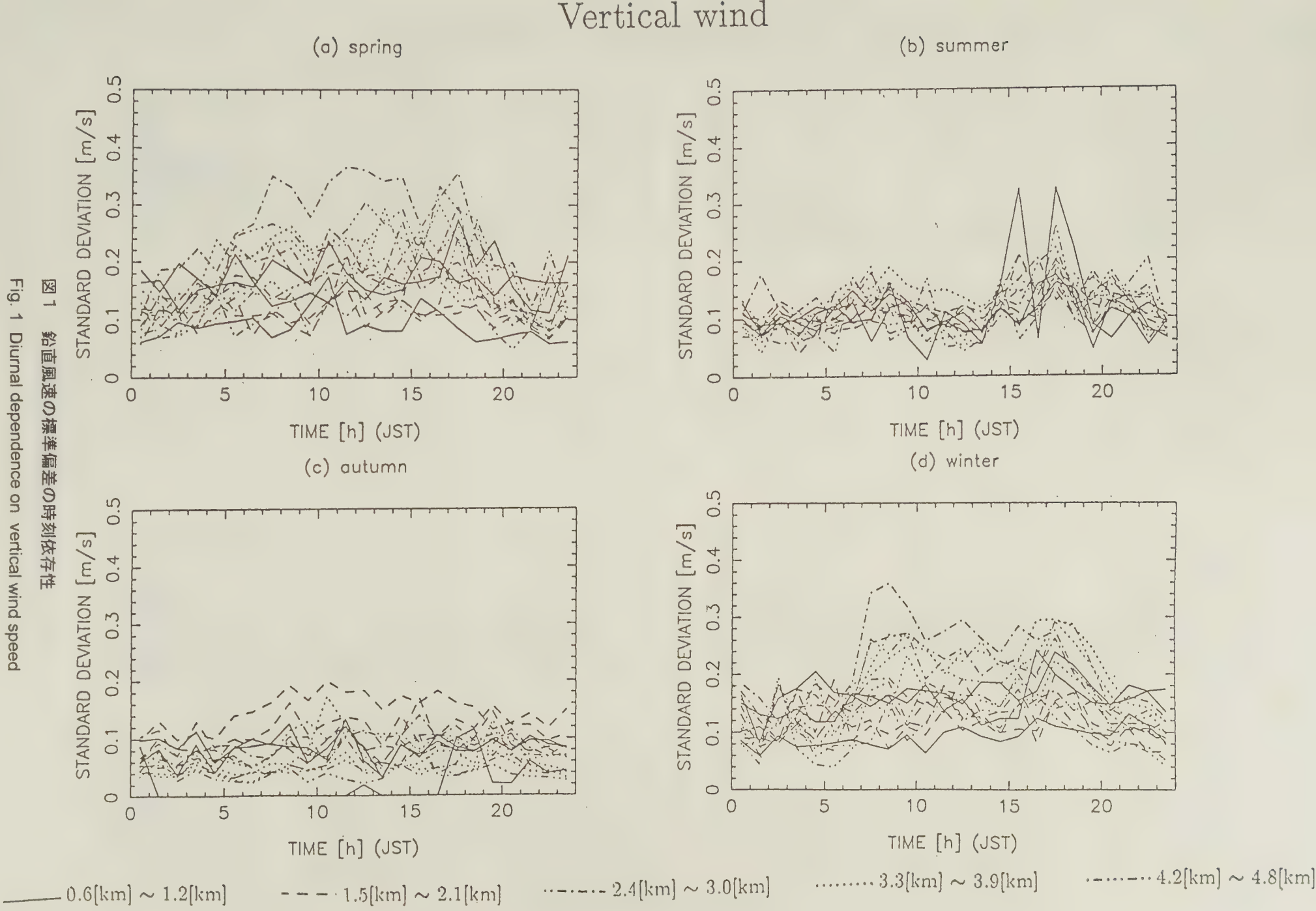


図 1　鉛直風速の標準偏差の時刻依存性

Fig. 1 Diurnal dependence on vertical wind speed

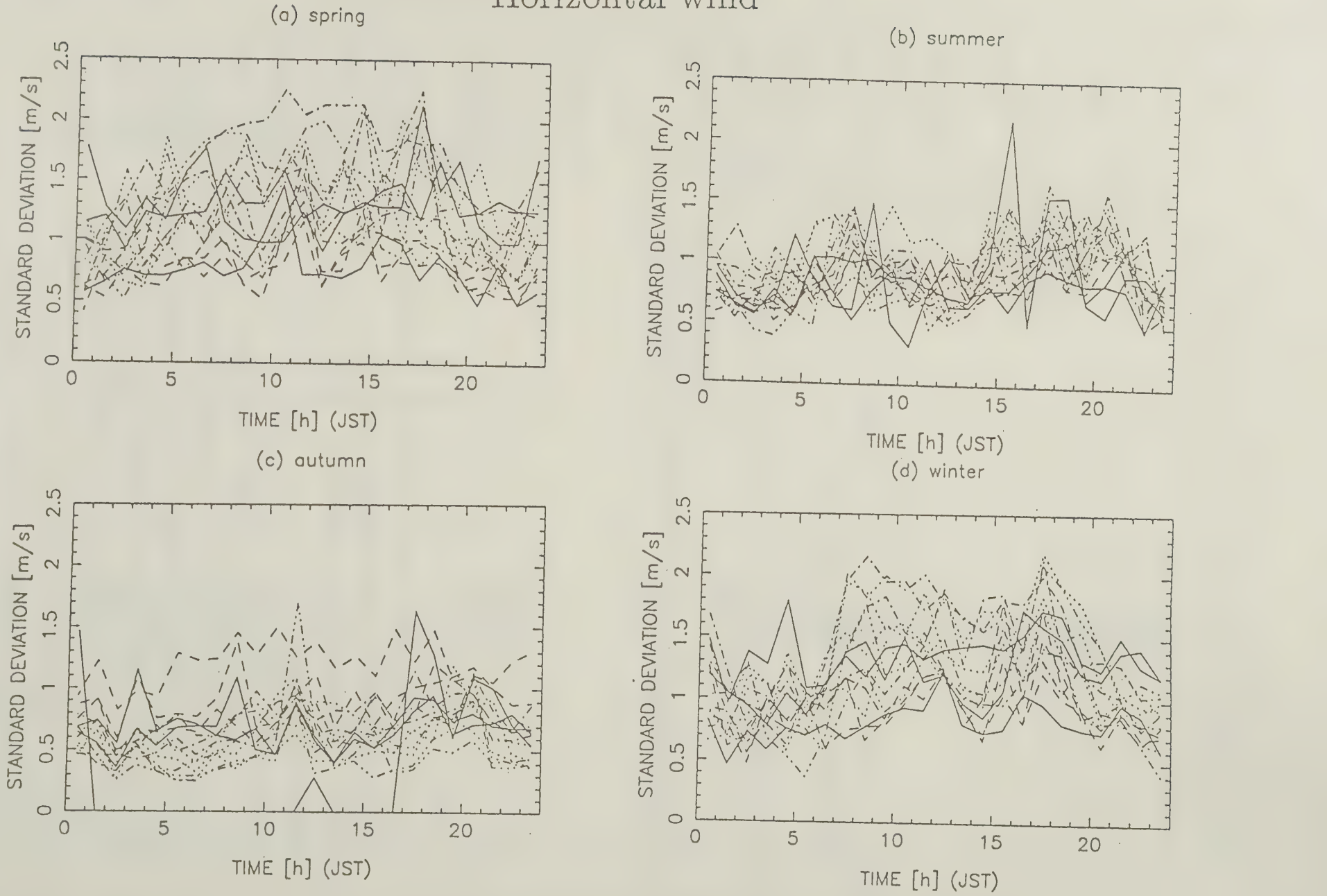


図 2　水平風速の標準偏差の時刻依存性

Fig. 2 Diurnal dependence on horizontal wind speed

図3　風向の時刻変化

Fig. 3 Diurnal variation of wind direction

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（２）大気・陸面に関する観測的研究
Observational Study on Air−Sea−Land Surface Interactions

② チベット・ヒマラヤにおける水文変動に関する観測研究
Observation on Hydrology over the Tibetan Plateau and Himalayas

科学技術庁　防災科学技術研究所
新庄雪氷防災研究支所
佐　藤　　威
木　村　忠　志

Shinjo Branch of Snow and Ice Studies,
National Research Institute for Earth Science
and Disaster Prevention,
Science and Technology Agency
Takeshi Sato and Tadashi Kimura

(Abstract)

In this study, three observation sites of snow weight (water equivalent of snow), groud temperature, and frost depth are established in the Tibetan Plateau. Based on their long term records, variations of snow and ice conditions and their relation to the Asian Monsoon will be analyzed.

In June, 1993, the training course was held for the Chinese scientists at the Chengdu Institute of Meteorology, and the setting and maintenance of the instruments and data collection were explained. After that, three sets of snow weght and frost depth meters were established at Lhasa, Nagqu, and Rikeze, and continuous measurements started in July, 1993. These works were carried out in cooperation with Chinese scientists. At these three sites, the instruments were set in the precinct of the meteorologiccal station, and Meteorological Research Institute started micrometeorological observations at the same time. According to the reports by the Chinese scientists, the instruments have been working normally except the frost depth meter at Lhasa broke down between December, 1993 and April, 1994.

The tempereature dependence of the output voltage of snow weight meter was analyzed using the data at Karatas, which is located in the Kunlun Mountains, China. Similar relations should be obtained from the present observations, and should be used to correct the snow weight values.

１．研究目的

チベット・ヒマラヤ高原地域に３カ所の自動観測点を設け、積雪重量、地面温度、凍結深度の３要素の長期連続観測を実施する。得られる観測データから同地域における雪氷に起因する水文変動を解明し、アジアモンスーンの変動との相関を研究する。

２．研究方法

チベット自治区のラサ、ナチュ、シガゼの３地点に積雪重量・凍結深度自動測定記録装置（木村、1992）を設置し、上記３要素の連続測定を行う。これらの観測地点は「アジアモンスーン機構に関する研究」の別の小テーマ「広域エネルギー収支に関する観測研究」の中で気象研究所が自動気象観測装置を設置する４地点のうちの３地点である（図１、表１）。

積雪重量及び地表面温度はデータロガーに１時間毎に記録され、また凍結深度は２時間毎にＥＰＲＯＭに書き込まれる。データ回収は１年に１回行い、１カ月毎の目視点検及び３カ月毎の稼働状況の点検を行う。これらの作業は原則として中国側の研究担当者が行う。

３．研究成果

平成５年度には日本側研究担当者が中国に出張して、四川省成都で中国側研究担当者に対して観測装置の操作方法等のトレーニングを実施し、その後チベット自治区ラサにおいて中国側研究担当者とともに観測装置１式を設置、動作確認をして本観測を開始した。さらにナチュ、シガゼの２地点については、中国側研究担当者のみで設置・動作確認を行い本観測を開始した。

（１）トレーニング

平成５年６月15日～26日に、成都気象学院の構内で中国側研究担当者（目視点検を担当するチベット自治区気象局職員７名と、３カ月毎の点検及びデータ回収を担当する成都気象学院職員２名、他２名）に対して、観測装置の設置・点検・データ回収の各作業についてトレーニングを実施した。トレーニングでは、あらかじめ日本より運んでおいた装置を実際に使用したが、トレーニング場所はコンクリート舗装のため設置については模擬的なものにとどまった。

トレーニングに先立ち、３組の観測装置の梱包をあけて輸送中の異常を調べたが、特に問題はなかった。

（２）設置

トレーニングの後、６月27日にラサに移動し、設置場所の現地調査を行った。中国側から提示された候補地点は、ラサ市内にある気象台構内、およびラサより西南西に70kmはなれた曲水にある水利部の観測施設の構内の２カ所であった。当初日本側は周辺の地形および地表面状態を代表するような郊外に設置を希望したが、保安上の問題があるため、結局提示された２カ所のうち周囲の状況と設置・保守の容易さを考慮して、気象台構内を選定した。また、他の２地点についても同様の理由で各地点の気象台構内に設置することにした。

設置作業は６月29日から始まり、気象研究所の自動気象観測装置の設置作業と一部並行して行って７月６日に完了した（写真１）。設置場所の地下には大きな礫があるため、日本から持ち込んだハンドオーガーやエンジンオーガーは使用が不可能で、結局凍結深度計のセンサーを埋設するための穴は手堀で掘削した。さらに、ラサはラサ川沿いに開けた町で地下水位が約1.5mと高いため、深さ2mの穴を掘削するのに手間取

った（写真２）。積雪重量計の設置は順調に行われた（写真３）。
観測装置の設置作業が終了してから、点検およびデータ回収の訓練を再度実施した。この後、本観測を開始したが、データは１年後に回収予定である。
他の２地点（ナチュ、シガゼ）については、中国側研究担当者のみで設置作業を行い、いずれも７月中に本観測を開始した。

（３）その後の経過
中国側研究担当者による３カ月点検の報告によれば、平成６年４月５日の点検時にラサの凍結深度計の電源電圧の低下が見つかり、その時点でラサのみ凍結深度の測定を中止した（このトラブルは平成５年12月末からこの日までの間に発生したことになる）。ラサの積雪重量計及びナチュ、シガゼの観測装置は少なくとも４月５日までは順調に作動していたと考えられる。
日本側は凍結深度計のトラブルの連絡を受け対応策を検討したが、平成６年７月のデータ回収時に電源部の改良を行う予定である。

４．考察

積雪重量計はメタルウェファー部（写真１）に積もった雪の重量により、内部の不凍液の圧力が変化するのを圧力センサーで検出し、電圧出力するものである（木村、1992）。圧力センサーの検定は積雪重量計の観測開始前に行う必要がある。通常は、圧力センサーにパイプを直結し、その中の水柱の高さを調整して水圧を変化させて行う（写真４）。
今回の３カ所の設置時に行った検定結果を図２に示す。ラサとナチュの検定値は直線に乗り、圧力センサーが正常であることが確認できる。一方シガゼの場合は、平均的には直線に乗るものの、ばらつきが大きいので再検定が必要である。
ところで、積雪がない場合でも、メタルウェファー内の不凍液の内圧は温度に依存して変化する。わが国のように積雪があっても地面がほぼ０℃であるなら特に問題はないが、チベットのように積雪があっても寒冷な場所では、必ずしもそうはならない。そこで中国崑崙山脈中腹のカラタス（標高2800m）に設置してある同型の積雪重量計の無雪期の出力を調べた（図３）。横軸は不凍液の温度の代わりに気温（地上1.5m）と地面温度の平均値を用いた。地面温度は、今回チベットに設置したのと同様にメタルウェファーの下面に設置した白金抵抗温度計で測定している（阿部ほか、1994）。温度の日変化に伴うヒステリシスが存在するためデータはばらついているが、積雪重量計の出力の温度依存性は明らかで、これが図２のｙ切片の変化となって見かけ上の積雪重量として現れることになる。チベットで得られるデータからも同様の関係を求め、測定値を補正することが必要であろう。
本研究の性格上、長期にわたる観測データの蓄積が重要であるので、今後とも観測装置の保守点検を十分に行っていく必要がある。また、平成５年度はまだデータは入手できていないが、データの解析に当たっては、同一地点で気象要素の自動観測を行っている気象研究所と協力することにより解析を深めることが期待できる。

５．引用文献

阿部 修、佐藤 威、木村 忠志、王 良璋 1994：中国タクラマカン砂漠周辺の崑崙山脈北部山岳域における気象観測.
東北の雪と生活，第９号，（印刷中）
木村 忠志 1992：チベット・ヒマラヤにおける水文変動に関する観測研究.
アジアモンスーン機構に関する研究、平成３年度成果報告書，
平成４年９月，科学技術庁研究開発局，80-83.

6．成果の発表

発表者名	発表題名	学協会誌名等	備考
（口頭） 佐藤威，木村忠志，陳隆勛，李維亮，段延揚，肖弟権	チベットにおける積雪重量・凍結深度計深度の連続観測（1）	平成5年度日本雪氷学会全国大会 予稿集　No.230	

7．関係国との協力

本研究の中国側担当機関である国家気象局とは、平成5年1月の共同研究実施取極の調印以来、緊密な連絡を取りながら研究を進めている。平成5年度に実施したトレーニング、設置、点検の各作業についても、中国側の協力のもと順調に行うことができた。また、平成5年度には中国側研究者4名を招聘（1名は防災科学技術研究所が招聘、2名は防災科学技術研究所と気象研究所が共同で招聘、1名は気象研究所が招聘）し、観測装置設置後の状況報告や観測方法の検討などを行った。

平成5年3月に第2回日中合同作業部会が開催され、平成6年度の計画を日中双方の担当者間で直接協議した。これに基づき、日本側研究担当者が平成6年7月頃にデータ回収のため現地へ出張する予定である。

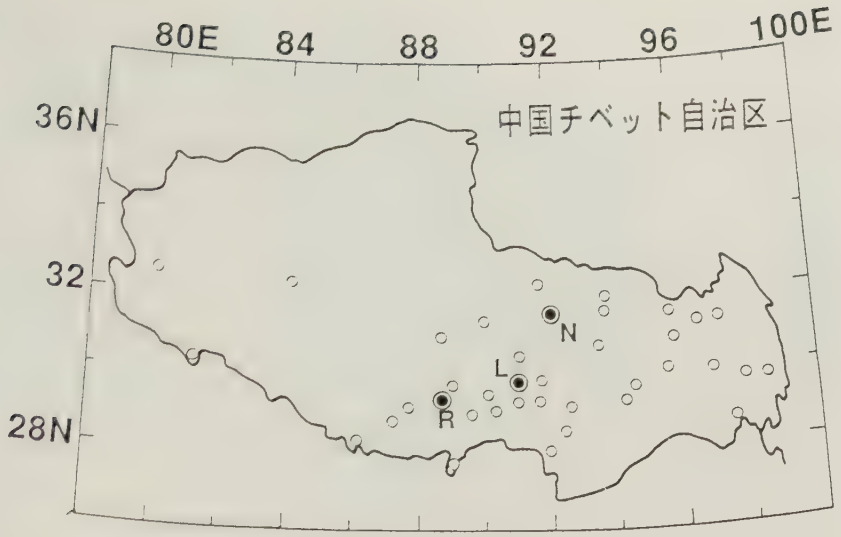


図１　観測点の位置（Ｌ：ラサ、Ｎ：ナチュ、Ｒ：シガゼ）
Fig.1　Locations of observations sites.
L:Lhasa, N:Nagqu, R:Rikeze
Open circles are the meteorological stations under the control of Tibetan Autonomous Meteorological Bureau. Three observation sites are also in the precinct of the meteorological stations.

地点名	位置 東経	北緯	標高 (m)
ラ　サ	91°08′	29°40′	3649
ナチュ	92°04′	31°29′	4507
シガゼ	88°53′	29°15′	3836

表１　観測点の位置と標高
Table 1　Location and altitude of observation sites.

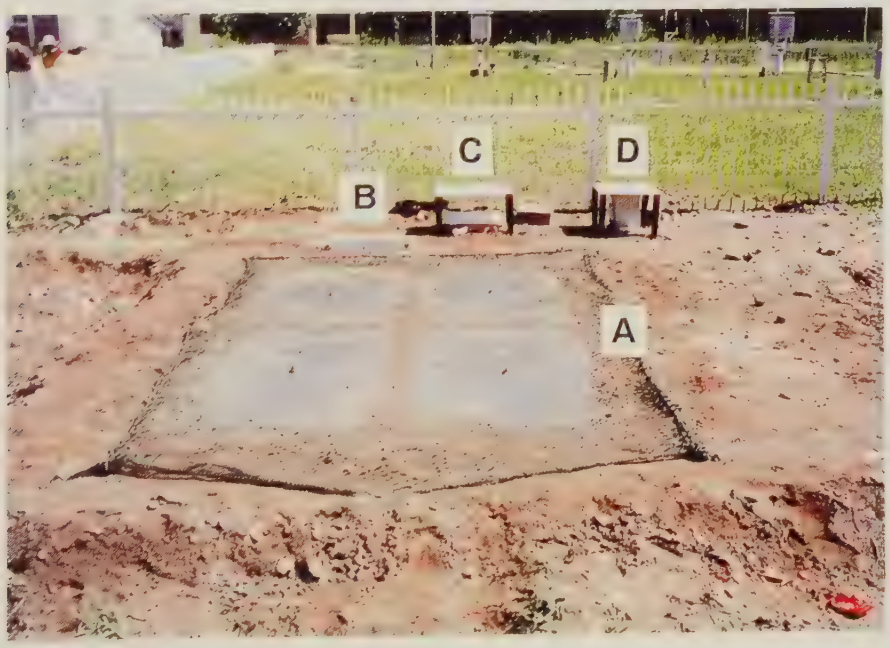


写真１
ラサに設置された積雪重量計と凍結深度計。
Ａ：メタルウェファー、Ｂ：圧力センサー、Ｃ：コンテナボックス（以上は積雪重量計）、Ｄ：凍結深度計
Photo.1
Snow weight meter (A−C) and frost depth meter (D) at Lhasa.
A:Metal wafer, B: pressure sensor, C:container box

写真２　凍結深度計を埋設するための穴の掘削（ラサ）
Photo.2　Making a hole for the installation of frost depth meter at Lhasa.

写真３　積雪重量計の設置作業（ラサ）
Photo.3　Setting of snow weight meter at Lhasa.

写真４　積雪重量計の圧力センサーの検定（ラサ）

Photo.4　Calibration of pressure sensor of snow weight meter at Lhasa.

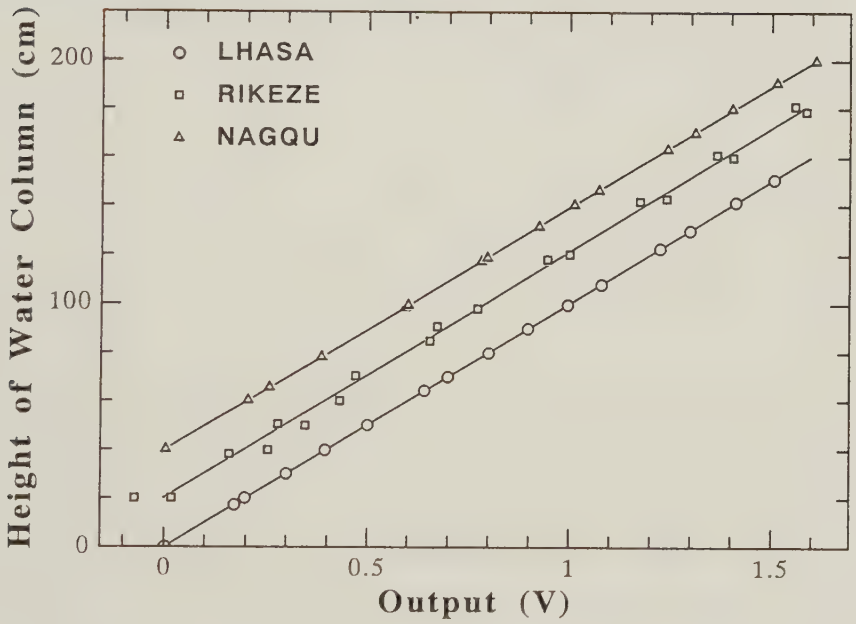


図２　積雪重量計の圧力センサーの検定結果
水柱１cmが積雪重量10kg/m²に相当する。シガゼのデータは水柱の値で20cm、ナチュのデータは40cm上にずらしてある。

Fig.2　Calibration data of the pressure sonsor of snow weight meter.
The height of water column of 1cm corresponds to the snow weight of 10kg/m ^{2}. Ordinate for Rikeze should be shifted upward by 20cm, and that for Nagqu by 40cm.

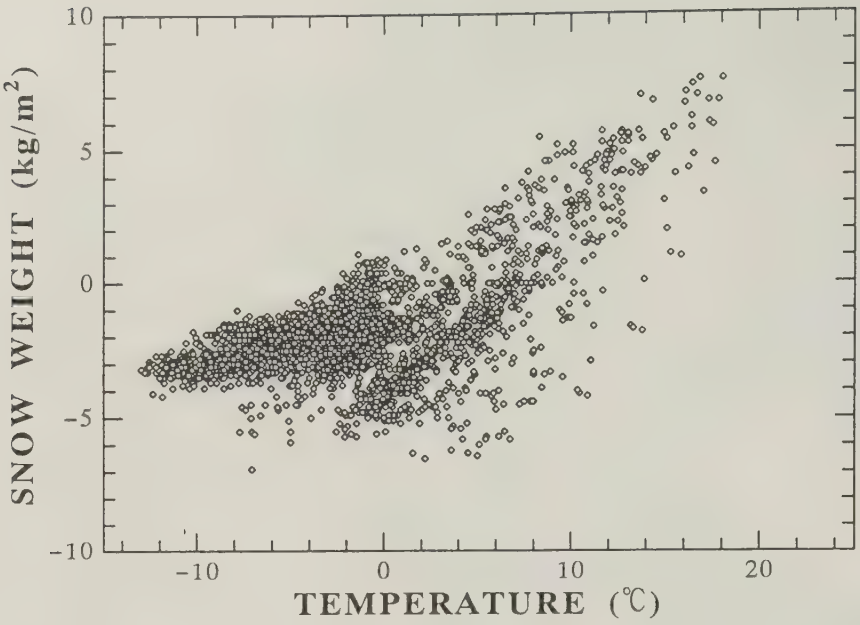


図３　積雪重量計の電圧出力の温度依存性
横軸は気温と地面温度の平均で、縦軸は電圧出力を積雪重量に換算してある。データは１時間毎の値である。

Fig.3　Relation between the output voltage of snow weight meter.
The temperature is an average of air temperature and gound temperature, and the output voltage is converted to the snow weight value.
Every one hour data is plotted.

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（２）大気・陸面に関する観測的研究
Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions

③ 大規模雲域内における対流雲構造に関する研究
Observation on Convective Cloud in Cloud Clusters

気象庁気象研究所
榊原　均、岡村博文、赤枝健治、
森　一正、島津好男、吉崎正憲
Meteorological Research Institute,
Japan Meteorological Agency
H. Sakakibara, H. Okamura, K. Akaeda,
K. Mori, Y. Shimazu, M. Yoshizaki

(Abstract)

Three-dimensional structures of convective cloud in typhoons and cloud clusters in the Baiu season were studied by using the Doppler radar and rawinsonde data which were obtained at the Miyakojima island (25N, 125E) in 1990 to 1992.

Common features of the convective cloud in four typhoons which passed near the island are analyzed. Outer rainbands were maintained by the low-level convergence between inflow from the outer area and the cold air which was produced by the outer rainbands themselves. Inner rainbands which were embedded in stratiform precipitation areas in the inner core of typhoons are classified into three types: rainbands which were made by upper-level updraft due to middle-level convergence, rainbands which were made by low-level convergence like outer rainbands, and rainbands which were seeded by ice particles from upper levels. Eyewall rainbands were formed below the slantwise outflow which was returning from the inflow in the boundary layer.

Structure of convective clouds in the cloud clusters in the Baiu season was diverse. Two cloud clusters which occured along cold fronts had convective area in their front portion and stratiform area in the rear portion. Strong middle-level wind blowed from the stratiform area to the convective area. Two cloud clusters south of a stationary front had extensive stratiform precipitation areas in front of and in the rear of active convective bands. The convective bands occasionally inclined forward because of the strong wind at middle levels. Other cloud clusters showed different structures. The diversity of the structure of cloud clusters in the Baiu season is probably due to their various life stage and the diversity of their environment.

1．研究目的

暖かい海洋上に発生、発達する大規模雲域（水平規模～数百ｋｍ：クラウドクラスター）は海面から大気に供給された熱と水蒸気を上方に輸送する。この熱・水蒸気の輸送過程で水蒸気は凝結し、凝結した水の一部が降雨として海面に落ちることによって大規模雲域は

正味に加熱される。この加熱は大規模雲域自体のエネルギー源であり、さらにはモンスーンや大気大循環を引き起こすエネルギー源でもある。本研究では大規模雲域内の対流雲の構造、対流雲と大規模雲域との相互作用を調べることにより熱・水・運動量の輸送過程及び降水過程の詳細を明かにし、アジアモンスーンの機構の解明に寄与することを目的とする。

2．研究方法

今年度は１９９０年－９２年の３年間南西諸島の宮古島で観測された台風および梅雨期クラウドクラスター内対流雲の構造を概観した。解析された大規模雲域は台風では眼の壁雲から外側降雨帯までが観測された４例、梅雨期大規模雲域では梅雨前線に伴う８例であった。

解析には研究観測データのほか、宮古島レーダー、石垣島レーダーのスケッチ図、沖縄レーダーデジタルデータ、静止気象衛星データ、地上・高層天気図、沖縄気象台管内地上観測データを用いた。

3．研究成果

（１）台風内の対流雲構造

宮古島には４個の台風が上陸ないし接近した。これらの通過の際に観測された外側降雨帯から眼の壁雲までの構造の特徴を代表例により以下に示す。

①外側降雨帯

９１１０号では８月１６日２１時２２分には主要な降雨帯のさらに外側に対流が線状にたっている。外側降雨帯の一種と考えられる。この降雨帯は高度７ｋｍ程度であるが、４０ｄＢＺ以上で強い。外側最下層からの流入が上昇し、内側下層２ｋｍ付近からの流入が下降している。この降雨帯が通過した頃、宮古島地方気象台では～２℃の気温降下があった。

９１１９号では９月２４日２１時４１分は外側降雨帯が通過した直後である（図１a, b）。外側降雨帯は対流性で、層状域は非常に狭い。エコー頂は７ｋｍ程度である。この降雨帯はマルチセルで前面にもっとも新しいセルがあり、後方に古いセルがある。ドップラー速度では後方（内側）から外に向かう流れの先端を前面の空気が斜めに上昇している。この降雨帯の通過に伴い宮古島地方気象台では３．５度の気温降下、０．８ｈＰａの気圧上昇があった。この気温下降は約２時間で回復する。その後２本の外側降雨帯が通過し、同様の構造と気象要素の変化が観測された。

②内側降雨帯

９０１５号の８月２９日２０時２６分にはレーダーから２９４度側３０ｋｍに強い対流エコーがある。これは層状降水域中央部の降雨帯である。ドップラー速度から見ると速度の小さい最下層の空気が上昇したことが推測される（最下層はエコー直下の３０ｋｍ付近で発散、３２ｋｍ付近で収束）。これは外側降雨帯に似ている。中心より後面の３０日１５時０分には内側降雨帯が外側に傾く上昇流（中層で内側に向かう流れとの中層の収束による）によってできている。

９１１９号では主に３種類の降雨帯が観測された。９月２５日２１時頃の典型的な例を図２に示す。第１は外側最下層の空気の上昇による対流である（２５３ｋｍ付近）。エコーは下層、最下層で強い。第２は中層の流れの収束による対流である（２２３ｋｍ付近）。強いエコーが融解層以上にのびていることが特徴で、下層のエコーは必ずしも強くない。最後の降雨帯は上層で外向きの弱い上昇流が氷晶を作り、融解層以下にエコーがのびる（２３０－２４５ｋｍ）。眼の壁雲に近くなるとドップラー速度の構造に見られる特徴が

あまり持続しなくなっている。

③眼の壁雲

９０１５号は宮古島の真上を通過した。この台風は眼の長径が１５０ｋｍ程度と大きかった。進行方向前面側の３０日０時１５分の３００度断面ではエコーが台風中心から外側に向かって高くなっている。このエコーの上面に沿って傾いた（傾き～１３／１００）上昇流がある。強い対流性エコー（３５ｄＢＺ以上）が途中にある。最下層には中心に向かう流れがある。流れの構造は下層で中心に向き、上層で外に向く、２層構造的である。進行方向後面の３０日７時８分にも同様な構造が見られる。すなわち傾き～３８／１００の上昇流があり、その下に３０ｄＢＺのエコーがある。

９０２０号の眼の壁雲は台風が東を通過中に観測された。眼の直径は８０－１００ｋｍである。全方位を取り囲むような顕著な眼の壁雲ではない。この眼の壁雲の特徴は外側にかなり傾く上昇流である。すなわち平均の傾きは６／１００～１４／１００である。したがって眼の壁雲としてはエコーはそれほど強くなく（～３５ｄＢＺ）、エコー頂高度も７～１０ｋｍが多かった。

９１１０号の眼の壁雲は中心が通過した後に観測された。８月１７日７時以降の特徴は外側に傾く上昇流である。傾きが小さいときは非常に強いエコーが観測され、傾きが大きくなると層状性領域が増える。さらに中層外側から内側に向かう顕著な流れがある。

９１１９号の９月２６日８時２５分の１４０度断面では眼の壁雲の２０ｄＢＺの領域が１０ｋｍに達しており、強い対流性であった。眼の壁雲（幅１０ｋｍ）のすぐ外にはエコーの弱いところが幅５ｋｍくらいあり、その外側に層状域が１０ｋｍある。眼の壁雲付近の流れはよくわからない。

台風域内の対流雲についてまとめると中心との相対位置で構造がほぼ決まっていたことが特徴である。最も外側の降雨帯では成層の不安定度が大きいため対流が強い。この強い対流が寒気を下層にもたらし、暖気との収束を強めている。内側には広い層状性降水域があり、その中にらせん状の対流域があるが成因は大きく分けて３種類ある。すなわち、①地上付近の収束にともなうもので、外側の降雨帯に似ているもの、②中層の収束にともなうもので、①より内側に多い、および③顕著な収束を伴わないもので、融解層より上ですでに強いエコーを伴う、である。中心近くには眼の壁雲またはそれに相当する降雨帯がある。中心向きに流れてきた空気は外側に傾く上昇流となって外側に流れ出す。この上昇流が降雨帯を作っている。

（２）梅雨期クラウドクラスター内の対流雲構造

１９９２年の梅雨期に南西諸島で観測されたクラウドクラスターはほとんどが梅雨前線に伴い発生した。多くの場合対流域は線状または鎖状であったが、帯状のものもあった。衛星観測では雲頂高度は必ずしも高くなかった。

梅雨期クラウドクラスターの構造はケースによる差異が大きかった。主な構造は以下のようであった。

①暖気側に対流域、寒気側に層状域を伴い、寒気側高度５ｋｍ付近に後方から前方の対流域に向かう強風がある。中緯度や熱帯のスコールラインに類似している。

これら６月７日および６月１８日のクラウドクラスターは共に南下する寒冷前線の降水系であった。

６月７日のクラウドクラスターは前方に鎖状に対流が並び、後方に幅の狭い（１０～２０ｋｍ）層状域がある。最盛期の１８時４０分頃通過した。レーダーエコーでは、長さ＞４５０ｋｍ、幅～５０ｋｍ、高さ～８－１２．５ｋｍの帯状エコーである。高度１．５ｋｍでは後方で西風、前方で南西風がみられ、収束域が帯状に存在する。２．５ｋｍではほ

ぼ南西風である。このシステムは１８時３２分から１９時３３分までほぼこの構造が保たれている。

６月１８日の降水系では前方に線状～鎖状に対流が並び、後方に幅の狭い（１０～２０ｋｍ）層状域がある（図3a,b）。１２時１８分の速度場を見ると０．７ｋｍでは北の風が卓越し、寒気内であることを示唆している。１．５ｋｍでは北西風となっている。３．５ｋｍでは南側の西風と北側の西北西風が収束している。このクラウドクラスターはエコーの高さが９ｋｍくらいのやや低いものであった。６－１８６度の垂直断面内では前方の風（西風）が最下層の北風（寒冷前線北側の寒気）と収束し、降水域先端付近で対流が立っている。

②幅広い層状またはやや層状の降水域の中央部に非常に強い対流がある。周囲の場には中層で後方から前方に向かう強い流れがある。対流エコーは前方（暖気側）に傾くことがある。

これらは6月１０日１５時頃と２０時頃のクラウドクラスターで、梅雨前線南側の時間的・空間的に非常に近いところで観測されており、周囲の状況には大きな差がなかった。

６月１０日１４時３１分の０．７ｋｍの特徴は対流域前方の一様な南風である。後方からの西よりの風は２．５ｋｍで最も強い。この高度では４０ｄＢＺ以上の領域が長さ１０ｋｍにわたって線状に連なっている。高度２．５ｋｍにおける上昇流を見ると、活発な対流域では非常に大きな上昇流が観測されている。１４時２１分の降雨帯にほぼ直交する垂直断面（２６６－８６度）内では降雨帯の前方高度１ｋｍ以下に降雨帯に向かう下層の流れがあった。この流れは対流スケール上昇流になった。１５時５６分には対流域より後方が観測されている。後方はエコー強度が弱く、水平方向の一様性がやや高くなっていることから層状性領域に見えるが、ブライトバンドは観測されず、ドップラー速度の分布を見ても非常に乱れている。これはこの後方領域がやや対流的であることを示している。ドップラー速度の特徴は高度２ｋｍ付近の後方から対流域に向かう流れである。この流れは非常に強く（～１８ｍ／ｓ）、対流域での下層の収束を強める役割をしている。また流れの中心軸以下の垂直シアは非常に大きい。

６月１０日１９時２６分には対流域が線状に組織化されており、前方の層状性降水域も強い。この線状対流域は顕著なシアラインを伴っている。対流域の後方にも層状性降水域がある（２０時４４分）。対流域後方の層状域のドップラー速度分布を前方のそれと比較するとかなり乱れていることがわかる。高度２．５ｋｍにおける垂直流を見ると、強い線状エコーに対応して対流スケールの強い上昇流がある。前方の層状域では全体に垂直流は弱く、しかも下降流が卓越している。１９時５０分には高度１０ｋｍに達する対流スケール上昇流がある。この時エコーは後方に傾いている。１９時５８分以降対流は前方に傾くようになる。

その他以下のような構造を持つクラウドクラスターが観測された。

③線状の対流域で、寒気側に傾いた上昇流と寒気側中層～最下層で暖気側に向かう流れを持つ。（６月１６日）

④暖気側に層状域を伴う線状の対流域で、対流域はいくつかの対流からなる。流れのパターンは変化が激しい。（６月９日）

⑤弱い対流が暖気側から寒気側に向かうメソスケール上昇流により幅広く組織化されている。この構造は長時間持続する。（６月１０日）

⑥メソスケール上昇流により幅広く組織化されたマルチセルシステムが、ユニセルシステムに移行する。（６月１４日）

上記のような構造の大きな差異は垂直シア、寒気暖気の３次元分布の変動が大きいこと

と観測時のクラウドクラスターの発達段階の違いによると思われる。

4．考察

１９９０－９２年の３年間に沖縄県宮古島で観測された大規模雲域（台風と梅雨期クラウドクラスター）の構造を概観した。台風では台風中心との相対位置で構造が決まる傾向が強かった。一方、梅雨期のクラウドクラスターでは一部に類似の構造があるものの全体としては多様な構造であった。これは台風では中心を軸とする対称性が高く対流雲の周囲の状況が類似しており、また台風全体の構造が定常に近いので同じような相対位置では同じような構造が観測されたものと考えられる。これに対し梅雨期クラウドクラスターでは梅雨前線付近の状況の変動が大きいこと、およびクラウドクラスターの寿命が数時間から十数時間と短いことによる発達段階の違いが大きいことが重なり、多様な構造が見られたと思われる。

今後は構造の類似と差異をもたらす要因を明らかにするため、各事例を詳細に解析する必要がある。

5．引用文献

特になし

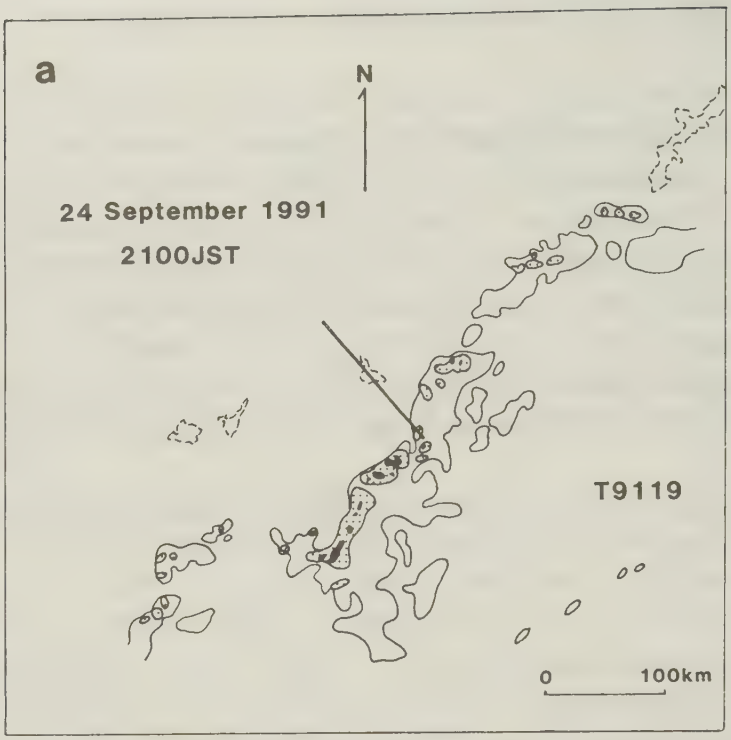
6．成果の発表

①口頭発表

発表者	発表題名	発表誌名等	備　　考
田畑　明 榊原　均 岡村博文 森　一正 赤枝健治	台風９１１９号のドップラーレーダー観測	日本気象学会1993年春季大会	
島津好男 森　一正 岡村博文 田畑　明 岩崎博之 榊原　均 山田芳則 中井専人 真木雅之	竜巻に関連するメソサイクロンのデュアルドップラーレーダー観測速報	日本気象学会1993年春季大会	
榊原　均	宮古島で観測された台風降雨帯の構造	日本気象学会月例会「レーダ気象」	

7．関係国との協力

特になし。



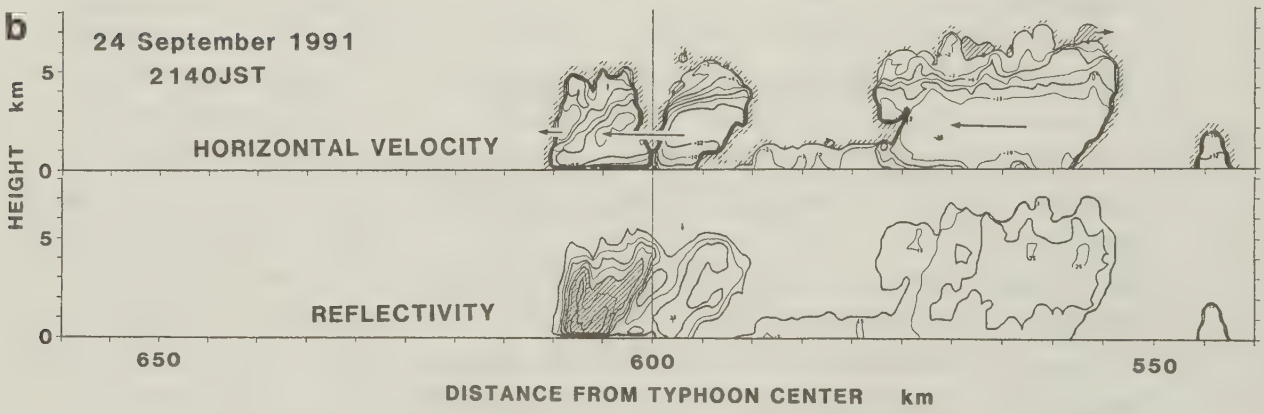


図１(a) 気象庁宮古島レーダーによる台風９１１９号のエコー分布（９月２４日２１時）。３２ｄＢＺ以上の領域に点で、４２ｄＢＺ以上の領域に黒塗りで影がつけてある。太い線分は(b)の垂直断面の位置を示す。(b) ドップラーレーダーによる１４０°－３２０°の垂直断面（９月２４日２１時４０分）。反射強度の等値線は５ｄＢＺから５ｄＢ間隔。３０ｄＢＺ以上の領域に影がつけてある。

Fig. 1 (a) PPI map of Miyakojima radar of JMA at 2100 JST 24 September. Areas with higher reflectivity than 32 and 42 dBZ are lightly and heavily shaded, respectively. Thick line indicates the location of the cross sections in (b). (b) Radial-height cross sections along the 140-320° azimuth of reflectivity and horizontal velocity at 2140 JST 24 September.

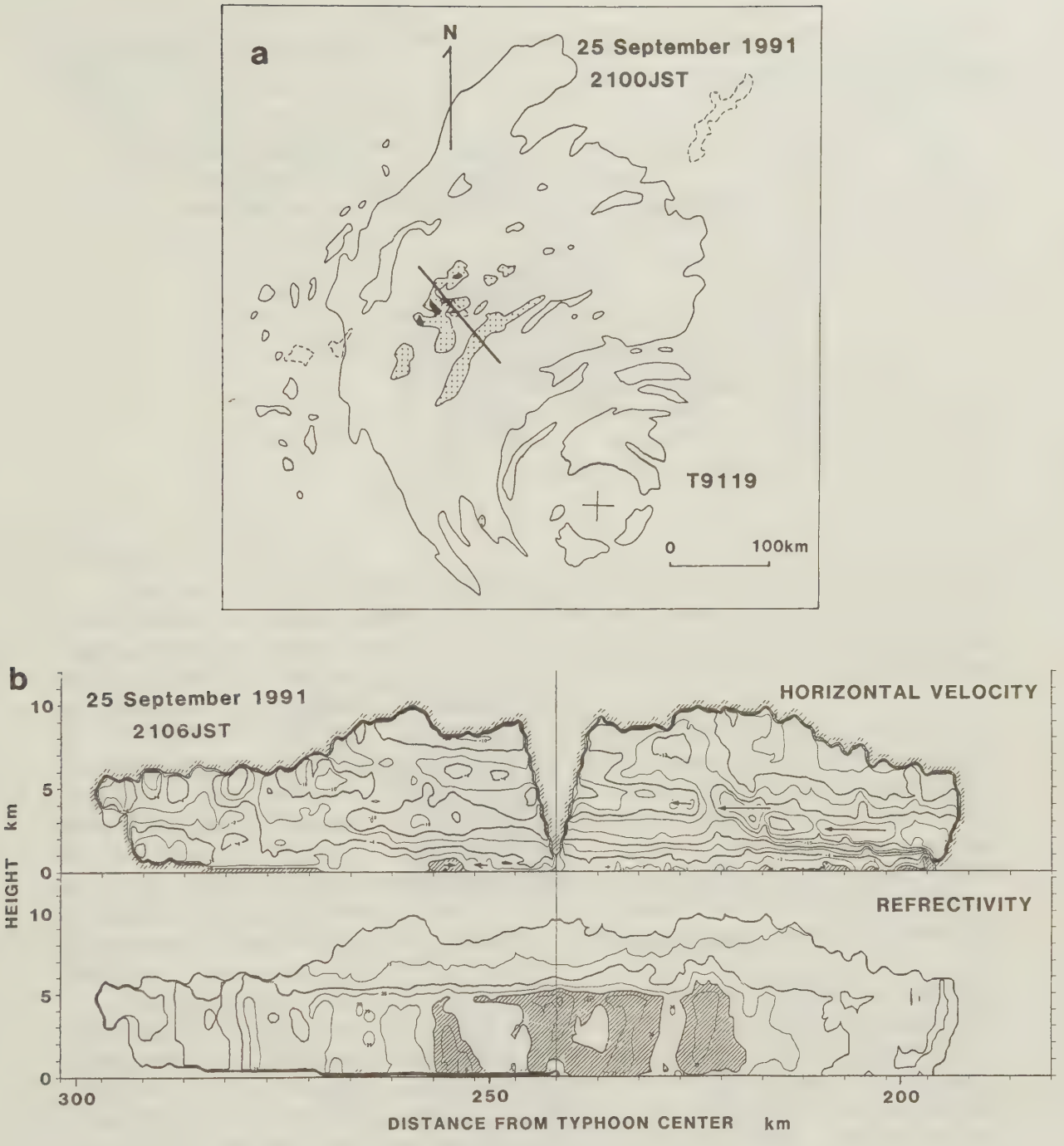


図２　図１と同様。ただし(a)９月２５日２１時および(b)９月２５日２１時６分。
Fig. 2 Same as Fig. 1 except for (a) 2100 JST 25 September and (b) 2106 JST 25 September.

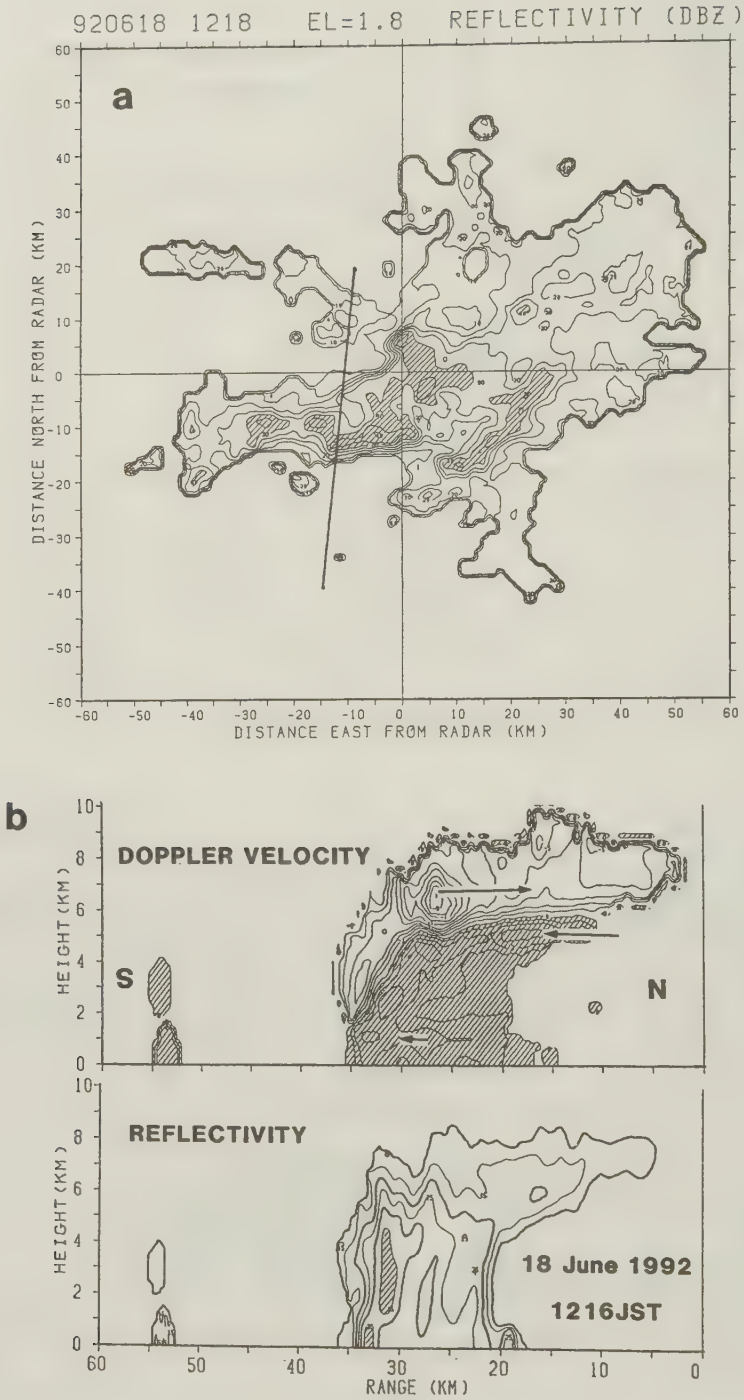


図３(a) 気象研究所レーダーによる梅雨期クラウドクラスターのエコー分布（１９９２年６月１８日１２時１８分）。等値線は５ｄＢＺから５ｄＢ間隔。３０ｄＢＺ以上の領域に影がつけてある。太い線分は(b)の垂直断面の位置を示す。(b) ドップラーレーダーによる６°－１８６°の垂直断面（６月１８日１２時１６分）。反射強度の等値線は５ｄＢＺから５ｄＢ間隔。３０ｄＢＺ以上の領域に影がつけてある。

Fig. 3 (a) PPI map of MRI radar at 1218 JST 18 June 1992. Areas with higher reflectivity than 30 dBZ are shaded. Thick line indicates the location of the cross sections in (b). (b) Radial-height cross sections along the 6-186° azimuth of reflectivity and Doppler velocity at 1216 JST 18 June 1992.

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（２）大気・陸面に関する観測研究
Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions

③　大規模雲域内の対流雲構造に関する観測研究
Observation on Convective Cloud in Cloud Clusters

科学技術庁防災科学技術研究所
隔測解析研究室
中井専人・大倉　博
Remote Sensing Laboratory
National Research Institute for Earth
Science and Disaster Prevention (NIED),
Science and Technology Agency
S. Nakai and H. Ohkura

(Abstract)

Precipitating convective clouds were analyzed applying both conventional and three-dimensional (3D) display techniques using the data obtained at the observation in 1992. The purpose is to investigate the kinematic and thermodynamic structure of the subtropical convective clouds embedded within the large cloud system.

The 3D vector wind field and the reflectivity field, the results of dual-Doppler analysis, were superimposed and displayed using 3D computer graphics. The 3D display makes it easier to recognize the characteristic phenomena and/or errors of data analysis. For example, vector wind arrows colorized by the values of horizontal divergence can show manifestly that the low-level convergence zone moved with the strong band-shaped echo. The 3D display is useful when used with the conventional technique at the appropriate step of the data analysis, although it has some problems at present.

Some band-shaped convective echoes were analyzed using the data of NIED Doppler radar. We had some cases that the convective echoes were accompanied by characteristic radial velocity pattern, which indicates the clear low-level wind shear located ahead and at the both sides of the band. In another case, the band-shaped convective echo had weak echo regions at both sides between the band and stratiform precipitation. They can be compared morphologically to the "transitional zone" of a squall line between a convective line and trailing stratiform precipitation, though, the mechanism is yet to be investigated.

Proceeding the analysis of precipitating convective clouds using the observation data is required. Introducing satellite data is needed to evaluate the observed cases in the large cloud system. Farther development of analysis methods is needed for the Doppler radar data. So, it is considered that we must limit the methodology of investigation of this part (NIED) only to the data analysis using radar and satellite data during the latter half of the project period.

1. 研究目的

大規模雲域内の降水をともなう対流雲を、気象庁気象研究所(以下ＭＲＩと書く)と共同で、測風機能を持つドップラーレーダー(ＭＲＩ、ＮＩＥＤ)とオメガゾンデ(ＭＲＩ)により３次元的に観測し、対流雲内部および周囲の気流、気温、湿度、雨滴分布等を調べる。さらに、デュアルドップラーレーダーにより観測された雨水量分布、気流構造等を３次元的に動的表示し、観測された対流雲が大規模雲域とどのように相互作用しているか調べる。

2. 研究方法

平成５年度は平成４年度観測データの解析を行った。まず、既存の装置の処理速度の不足を補うため三次元対流雲データ表示解析装置を整備し、次に、デュアル観測データから計算された風速３成分、水平収束・発散、および反射強度の３次元分布について、３次元(3D)表示による解析を行った。３次元的な気流および降水粒子の集中度を視覚的に把握することにより、観測された大規模雲域内の対流雲構造について概念モデルを得ることを試みた。

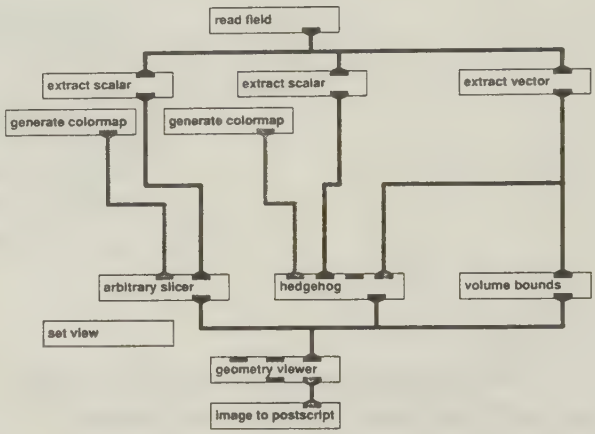


図1　３次元表示処理の流れの例。
Fig. 1 An example of the flow of 3D display.

直交座標上の風速分布、水平収束・発散の３次元分布は、極座標上の反射強度、動径速度からデュアル解析によって求められる。このような物理量の３次元表示処理に、ここではＡＶＳ(Application Visualization System; 米国Advanced Visual Systems社製)を使用した。表示処理の例を図1に示す。網掛けした箱はモジュールといい、個々の処理単位を表す。入力データから取り出した風速ベクトルは水平発散の値によって色分けした矢印で表され(hedgehogで処理)、地上付近の反射強度の水平分布(arbitrary slicerで処理)と重ね合わせて表示された(geometry viewerで処理)。降水分布に現れる対流雲の構造、高度による風速分布の変化などは。表示した図の視点、arbitrary slicerの断面の位置、３次元等値面表示の閾値などを対話的に変更させて視覚的に把握した。

このような視覚的解析と並行して従来からの手法による解析も行った。デュアル解析用の３次元データを単独で使用して対流雲の移動について調べたほか、ＲＨＩ走査のデータを使用して対流雲の鉛直構造について調査を行った。

3. 研究成果

(1) ３次元表示による解析方法

この節では、３次元表示による解析を宮古島のデュアル観測データに適用した結果、対流雲に伴う降水と気流がどのように見えたかについて述べる。図2の表示には試験的な解析データを使用しているため風速値は必ずしも正確なものではない。

図2(a)に図1の処理による表示結果を示す。図下半分に広がる矢印群は対流雲に相対的な高度0.7kmの風速で、データのある格子点上に描かれている。矢印の色は水平発散を表す。バックの階調表示は地上付近の反射強度であり、白いところほど降水が強いことを表す。降水の強い領域がバンド状に図中央右よりから左下にかけて存在し、これに沿って矢印の色が濃くなっている。濃い矢印は強い収束を表し、水平収束の強いところで地上付近の降水が強くなっていることがわかる。図中央上よりの矢印群は対流雲に相対的な高度2.5kmの風速である。計算は6高度について行われているが、図2(a)ではその一部を拡大して表示している。

図2(b)は4高度の水平風速分布と3方向の反射強度の断面を重ねて表示したものである。風速ベクトルは各格子点上にプロットし、反射強度分布は内挿して階調で示した。２枚の

鉛直断面は対流雲によるバンド状降水域の走向(左側の鉛直断面)とそれに垂直な方向(右側の鉛直断面)に取った。視点は観測領域南側から俯瞰するように設定した。バンド状降水域には対流性のセルが並び、これと垂直な方向には層状性の降水域があることが視覚的にわかる。上層ではバンド状降水域から東側(右側)に吹き出している風がある。

この他、反射強度値と風速ベクトルとをそれぞれ色と大きさを変えた小球と矢とで表してその分布を透視する、反射強度と風速の3成分について閾値を変えて等値面表示を行う、といった表示手法による解析を行った。このような3次元表示を8-9分間隔のデータについて次々と行った結果、バンド状降水域の大きさと形の変化を効率的に認識することができた。また、下層の流入とそれに伴う収束および対流雲からの上層の吹き出しも視覚的にとらえられ、これらがバンド状降水域とともに移動することが明瞭に示された。しかし、バンド状降水域を形成するセルの入れ代わりについては、元データの時間分解能の限界から視覚的に連続した表現はできなかった。鉛直流については試験的な解析データを使用したための計算誤差が目立った。このことは、3次元表示が解析誤差の発見を容易にし、解析効率の向上に寄与し得ることを示している。

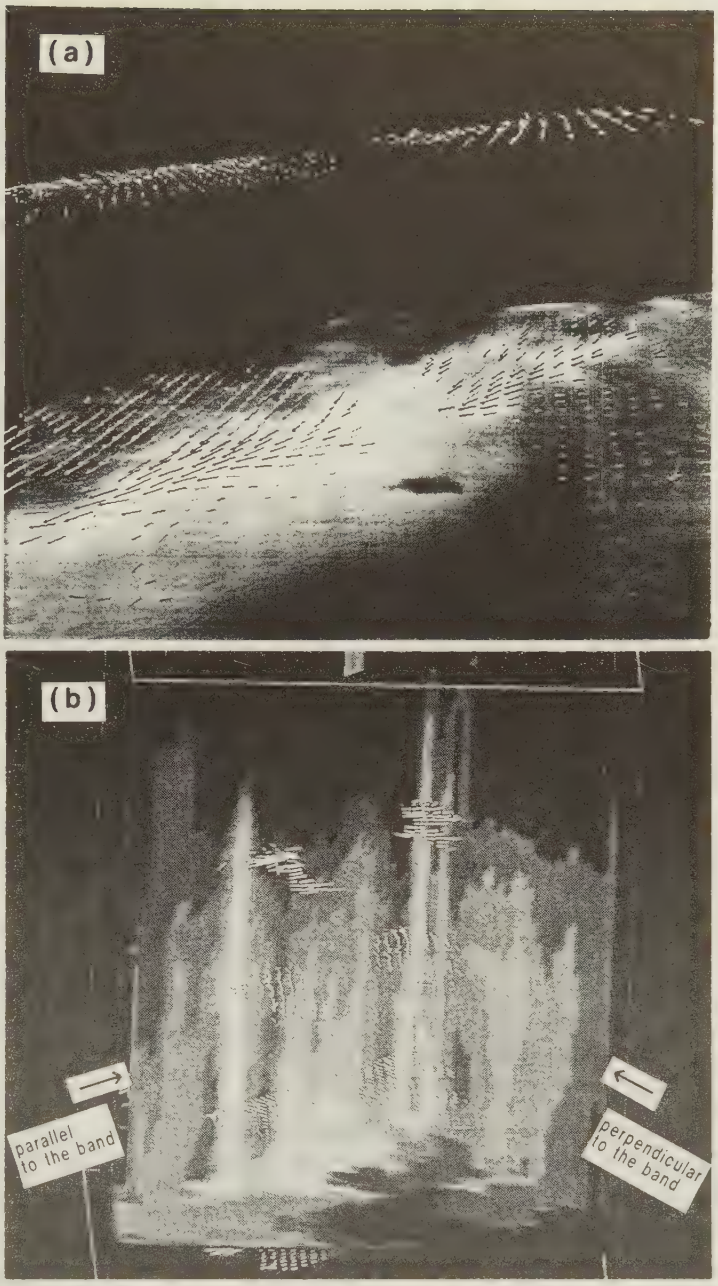


図2　対流雲デュアル観測データの3次元表示例。本文参照。

Fig. 2　Examples of 3D display of a subtropical mesoscale convective system using dual-Doppler observation data.　See text.

(2) バンド状降水域を伴う対流雲の事例解析

大規模雲域内の対流雲による降水のタイプの一つとして、バンド状の対流性降水がある。図3、4に梅雨前線帯に伴うバンド状の対流性降水の事例を示す。

1992年6月10日8時54分、ＮＩＥＤドップラーレーダーの西約15kmに長さ約50kmのバンド状の対流性降水が観測され(図3(a))、その周辺は主に層状性の降水域となっていた。バンド状降水域の後側はレーダービームの減衰があり、弱い降水はとらえられていない。このとき下層の風系を見ると(図3(b))、レーダーの東側から南側にかけて南西－北東の風向で

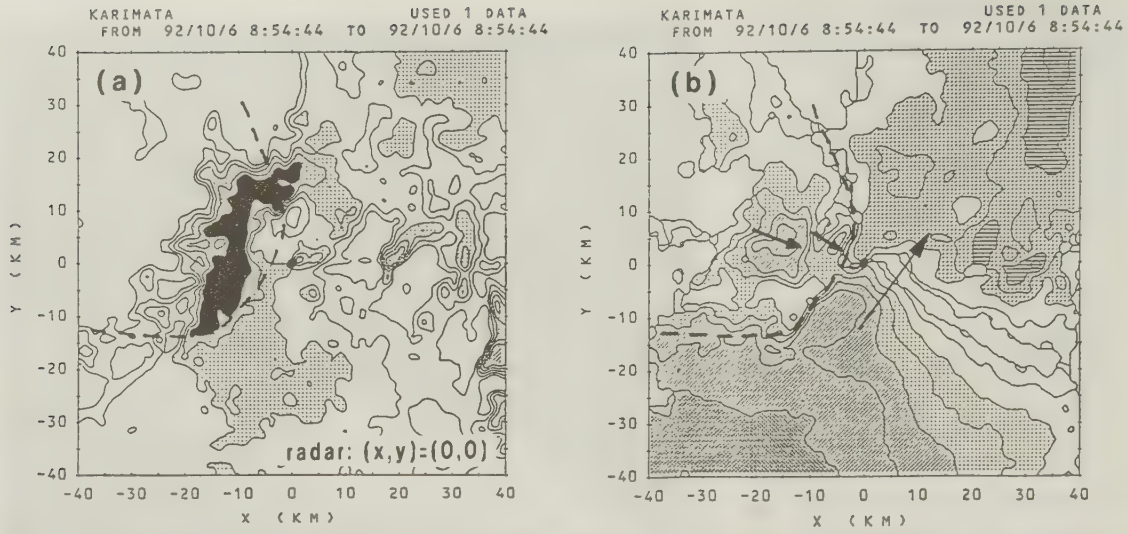


図3　1992年6月10日0854JSTにみられた低層wind shearを伴う対流性降水。(a):仰角2.8度のPPI上の反射強度。対流性の強い降水域を黒塗りで示す。破線は低層wind shear。北が上である。(b):(a)に同じ。ただし、ドップラー速度。等値線は2m/s毎で、風速が強いほど濃い色で示す。矢印は風向を模式的に示したもの。

Fig. 3　A band-shaped convective precipitation with low-level wind shear observed at 0854JST on June 10, 1992. (a) PPI of the reflectivity at the elevation of 2.8° . Black area indicates the area of strong convective precipitation. The low-level wind shear is indicated by a dashed line. X, Y is meridional and latitudinal distance from the NIED Doppler radar, respectively. (b) the same as (a) except radial velocity. Contour lines are drawn by 2m/s interval with graded shading. Arrows indicate the wind direction schematically.

あったのに対してバンド状降水域の周辺だけ西北西ー東南東の風が吹いており、これらの間のシアーラインが明瞭であった。バンド状降水域の周辺の風系は明らかにこの降水をもたらした対流雲によって作られたものである。この事例については田畑他(1994)がデュアルドップラー解析を行っている。

同日18時50分前後に現れたバンド状の対流性降水を図4に示す(CAで示されている)。この対流性降水は約13m/sで北東へ進んでおり、その形状はその進行方向とほぼ垂直な走向を持つバンド状であった。層状性降水域がその周囲に広がっていたが、バンド状降水域の周辺は弱エコー域となっていた。この弱エコー域は層状性降水域とバンド状降水域とを明確に分けており、スコールラインでしばしば観測されるような'遷移領域'を形成していた。特に、この事例ではバンド状降水域の両側に'遷移領域'が存在していた(図4(a))ことが特徴的である。鉛直断面(図4(b))およびレーダー上空の鉛直流の解析(図略)によると、バンド状降水域に対して下層前方から流入した気塊が収束し、上昇流となった後にバンド状降水域上空の高度6km付近で前後方に発散する傾向が見られた。これらのことから、この事例では主にバンド状降水域の前方下層から流入した気塊が上昇流となり、対流の維持に寄与していたと考えられる。

4. 考察

(1) 3次元表示による解析の有用性

これまで、レーダーデータ解析のための3次元表示は、スカラー量である観測値に対して直接ボリュームレンダリング、断面の階調表示等を行ったものが主である(Fujiyoshi et al., 1991; 真木ほか, 1992)。本研究ではデュアル解析の結果であるベクトル、スカラー量に対して3次元表示手法を適用し、デュアル解析の道具としての3次元表示の有用性を検討したところがこれまでの研究と異なる。

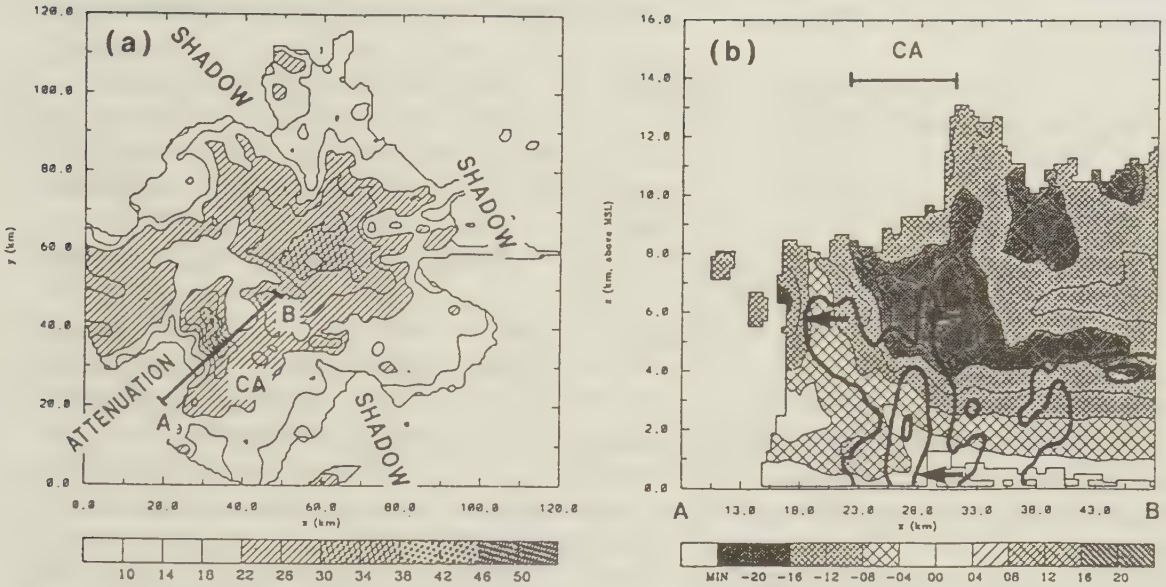


図4　(a):1992年6月10日18時51分の高度1.0kmの反射強度分布。レーダーの位置は(x,y)=(60km,60km)である。(b):10日18時49分の方位角226度のRHI断面。反射強度は22、30、38dBZeを太線で表し、ドップラー速度は図の下の凡例に従って細線とハッチングで示す。A、Bは図1に対応する。

Fig. 4　(a) the reflectivity at the height of 1.0km at 1851JST on June 10, 1992. The radar located at (x,y)=(60km,60km). (b) a vertical section at the azimuth of 226° at 1849JST. The contour lines indicate 22, 30 and 38dBZe. A and B correspond to the notation in Fig. 4(a).

デュアル解析中に３次元表示を用いる利点として、①定性的に現象をつかむためには非常に役に立つ、②データの中にある特徴的な現象(例えば下層の流入、収束、上昇流が卓越する場所等、およびそれらの位置関係と時間変化)の発見がしやすい、③ノイズ、計算誤差などが明確になり、短時間で解析の信頼性を向上させられる、ことが挙げられ、主に解析の初期段階で有用なことがわかった。一方、欠点として、①定量的表示は(現状では)困難か、可能であっても煩雑、②予想外に大きなハードウェアの負担を要求される、③表示処理段階で内挿等が自動的に行われてしまい元データの癖が見えにくい、といったことが挙げられた。しかし、ハードウェアの向上及び手法の改良に加え、これらの欠点に注意して解析の流れの中の適所において使用すれば、デュアル解析結果の３次元表示はスカラー量の３次元表示以上に有効な表示解析手法になると思われる。

現在のレーダーデータの解析は、反射強度について計算段階では降雨減衰を含めずに計算し、計算結果を評価する段階で減衰を考慮している。これは、降雨減衰が反射強度値から一義的に求まらないことによる。しかし、観測されたモンスーン域の対流雲は降雨減衰が強く、３次元表示による現象の直感的な把握に関しては、0次近似的なものであっても補正を行った結果を表示した方が良いと思われる。また、３次元表示に鉛直流の補正を含まないデュアル解析結果を用いたため、鉛直流を表示すると計算誤差か現象本来のパターンか判別しづらいことがあった。これらは３次元表示以外の解析の精度の重要さを示すものである。３次元表示による解析は解析の効率化に大きく寄与するものであるが、それ以外の解析の精度を向上させ、これと並行して行うことが重要であると考えられる。

(2) モンスーン域対流雲の維持過程と大規模雲域内における位置付け

図3のようなバンド状の対流性降水の事例は他にもみられ、明瞭な下層wind shearは対流雲にしばしば伴う特徴的な現象であることが本年度の解析から明らかになってきている。一方、図4に示した事例では、下層wind shearはみられたものの図3の事例のように明瞭で

はなかった。観測された対流雲には様々なタイプがある(例えば、田畑他(1994))ことが報告されており、対流雲の構造について一般的な結論を出すためには多くの事例解析が必要と考えられる。

バンド状の対流性降水の両側に'遷移領域'を伴う事例(図4)はこれまで報告がなく、この構造が対流雲の維持過程に対してどのくらい本質的なものかもまだわかっていない。上昇流の形成と鉛直シアーとの関係、上昇した気塊のその後のtrajectoryなど、さらなる解析が必要である。また、図4のバンド状降水域の長さは最大で約50kmであり、'遷移領域'の存在が知られているスコールラインの数分の一である。'遷移領域'形成のメカニズムの類似性については、このバンド状降水域を形成した対流雲の大規模雲域内における位置付けも調べた上で結論を出す必要があろう。このようなことを多くの事例について明らかにするためにも、事例解析を中心とした解析に重点を置いて研究を進める必要がある。一方、レーダーの観測範囲は数十ｋｍであり、その中の現象を大規模雲域の中で正確に位置付けるためには衛星データを併用することが不可欠である。ドップラー観測データの解析からは対流雲の気流構造と降水分布が得られるが、そのような対流雲の維持過程を調べるためには、観測された対流雲を含むメソスケール雲システムの活動度、およびその周辺の水蒸気分布を衛星データの解析から求めることが必要である。以上のことから、後期においてはドップラーレーダーデータと衛星データを併用した解析に専念することにより、アジアモンスーン域の対流雲構造の維持過程、および大規模雲域の水循環の中での対流雲の位置付けについて明らかにすることが成果をまとめるために必要なことである。

本テーマは本プロジェクトの中でも扱っている現象のスケールが小さいのが特徴である。扱っている現象は雲システムであり、アジアモンスーン域に発生する雲の中で起こる素過程を解明することにあたる。アジアモンスーン機構を特徴づける対流活動の変動は個々の雲システムの発生、発達を通して起こるものであり、このしくみを局地的にせよ解明することは、雲量の変動、ひいては本プロジェクトで得られるアジアモンスーン機構の説明の中で、その物理的根拠を明確にすることに寄与できると思われる。

5. 引用文献

Fujiyoshi, Y., M. Ohi and G. Wakahama, 1991: Three-dimensional display ofradar echoes using the technique of marching cubes. J. Atmos. Oceanic Tech., 8, 869-872.

Maki, M., H. Ohkura and H. Miyachi, 1993: Analysis of Dopplerradar data by three-dimensional computer graphics. Preprints of 26th International Conference on Radar Meteorology, 24-28 May 1993, Norman, Oklahoma, 350a-350c.

田畑明・山田芳則・岩崎博之・榊原均・中井専人, 1994: 梅雨期に宮古島で観測された中規模対流系. 天気, 41, 56-57.

6. 成果の発表

岸井徳雄, 1994: アジアモンスーン域の水循環と水収支. 熱帯アジアモンスーン地域における水循環と水収支ワークショップ －GEWEX/GAME/Tropicsへ向けて－, 1994年4月22日-23日, 京都.

中井専人・田畑明・山田芳則・岩崎博之・榊原均, 1994: 亜熱帯中規模対流系の鉛直構造の解析. 日本気象学会1994年春季大会, 1994年5月24日-26日, 東京, D213.

Data Directory

1.Directory Entry Title
Miyako92 (NIED)

2.Directory Entry Start and Stop Date
start: January, 1996

3.Sensor Name
Doppler radar

4.Source Name
original data of the special observation
5.Investigator, Technical Contact, and Author
NAKAI, S (NIED)
6.Data Center
NIED (Investigator)
7.Originating Center
NIED (Investigator)
8.Campaign or Project
JEXAM
9.Storage Medium
6250BPI, 1/2inch magnetic tape
10.Parameter Measured
radar reflectivity factor, mean Doppler velocity, Doppler velocity variance
11.Discipline Keywords
Asian monsoon, subtropical precipitation, mesoscale, radar
12.Coverage
within 64km radius centered at 24°54′N, 125°16′E
13.Location Keywords
Miyako, Okinawa, Japan
14.General Keywords
Subtropical Rainfall
15.Revision Date
Date of Observation
16.Science Review Date
None
17.Future Review Date
None
18.References
None
19.Summary
Conditions for data access are:
Documentation of the data source at the presentation or publication on the work in which the data is used;
The user must have sufficient knowledge about the Doppler radar and the Doppler radar data;
Under coorperative research activity with the Investigator.

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（3）衛星データの解析研究
Analytical Study on Satellite Data

① モンスーン循環広域条件及び雪氷変動状況に関する解析研究
Analysis on Environmental Conditions and Snow-Ice Cover Changes Affecting to Monsoon Cycle in Asia

科学技術庁防災科学技術研究所
矢崎　忍、中根 和郎、諸星 敏一、幾志 新吉
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Science and Technology Agency
S.Yazaki, K.Nakane, T.Morohosi, S.Kishi

(Abstract) The mode of Asian monsoon activities is said storongly affected by environmental conditions of the area especially SST of Indian ocian and snow-ice cover over the continent. The purpose of this study is to make clear the relation between them mainly by analyzing satellite data.

Our method is

(1) To make regional satellite image date base covering whole Asian area with NOAA/AVHRR data in a regular period(one in 7 days).

(2) To establish algorithms to detect various air, sea and land conditions with the satellite image data.

(3) For snow-ice cover in Tibetan-Himalayan area, sea ice in the Sea of Okhotsk or air water content over ocians, another adequate satellite data will be adopted for precise analysis.

This year's results are as following.

(1) The algolithm to detect snow covered area with the regional satellite image data is improved and applied to whole area of the image. To distinguish snow from cloud both spectral information and temporal change of it are used. As a result almost cloud free image of snow cover is obtained.

(2) Detectability of soil moisture with JERS-1 OPS data is verified for the data over the mouth of Yellow River. The good correlation was found between the difference in brightness of visible band from near infrared band and the soil moisture estimated from the condition of land cover.

(3) Attempts to improve ground resolution of the regional satellite image data which are made from NOAA/AVHRR GAC data are carried out by using AVHRR HRPT data. The precise spacial information of HRPT data are utilized to improve GAC's resolution. As a result the GAC image with HRPT's resolution is obtained.

１．研究目的

アジアモンスーンの変動はインド洋、西太平洋の海水温、ユーラシア大陸の積雪面積と深く関わっていることが指摘されており、またモンスーン活動によってもたらされる降水は災害、水資源、植生活性度に大きく関係する．本研究ではアジアモンスーン地域を対象として、モンスーン循環活動に関わる各種環境条件（海面水温、地表面温度、積雪、海氷、植生指標、雲頂温度、大気水分量等）の分布状況を各種の地球観測衛星データを用いて検出し、時系列的なデータベースとして整備するとともに、それらを用いて環境条件とモンスーン循環変動との関係を明らかにする．

２．研究方法

（１）アジアモンスーンの変動に大きく影響すると考えられるインド洋、西太平洋、ユーラシア大陸を含む東経３０°～１６０°、南緯２０°～北緯６０°の範囲を解析対象領域として、この領域をカバーする衛星画像を幾何補正、モザイク合成した広域衛星画像を一定期間（７日）毎に作成する．この衛星画像データから前記の各種環境条件を検出する手法を開発し、それを用いて環境条件を画像化する．この目的のためには可視、近赤外、熱赤外バンドのセンサーを有し、しかも当該領域をカバーすることが不可欠であり、この条件に合うデータで現在利用できるものとしてＮＯＡＡ／ＡＶＨＲＲを用いる．
（２）アジアモンスーンの変動に影響が大きいチベット・ヒマラヤ地域の雪氷分布を分解能の高いＬＡＮＤＳＡＴ／ＴＭ，ＭＯＳ－１／ＭＥＳＳＲを用いて詳細に解析する．
（３）海洋上の大気水分量、雲水量をＭＯＳ－１／ＭＳＲを用いて解析する．
（４）オホーツク海の海氷分布をＭＯＳ－１／ＶＴＩＲ，ＭＳＲを用いて解析する．
（５）以上のような各種環境条件画像を長期間にわたって整備し、その季節変動、経年変動を解析する．さらにこれらの環境条件とモンスーン循環の変動、特に降水量との関係を明らかにする．

３．研究成果

（１）広域衛星画像を用いた広域積雪分布の検出

アジア大陸の広域的な積雪分布はモンスーン循環の変動との関連において、また、水収支との関連においても重要である．上記の広域衛星画像を用いて、平成４年度にチベット・ヒマラヤ地域を対象に積雪分布の検出手法を開発したが、今年度は主として中国東北地域を対象に同手法を適用し検出手法の改良を行った．ＡＶＨＲＲのすべてのチャネルで積雪と同じスペクトルを示す雲があり、それらはスペクトル情報だけからは積雪と識別できない．そこで時期の異なる複数のデータを用い、スペクトル情報と時間変動情報を併用することにより検出精度の向上をはかった．

（２）ＪＥＲＳ－１データによる黄河河口域の土壌水分の解析

黄河河口域には広大なデルタが発達している．この地域を対象にＪＥＲＳ－１／ＯＰＳデータによる土壌水分の検出の可能性を検討した．まず、全バンドデータを用いて土地被覆分類行い、いくつかのカテゴリーに分類した．これにより各カテゴリー毎の土地被覆状況とバンド値の関係を調べた結果、バンド２（可視）とバンド５（近赤外）との差が土壌水分と良い相関があることが判明した．この研

究は中国水利部リモートセンシング応用センターおよび中国国家気象局衛星気象センターとの共同で行ったものである．

（３）広域衛星画像の分解能の向上

本研究で用いる広域衛星画像はＮＯＡＡ／ＡＶＨＲＲのＧＡＣをもとに作成されているため、その解像度は低い（地上分解能：約４km×４km）．この解像度は広域の環境条件を解析するためには十分であるが、各種地上観測データとの対応を調べるときなどには不十分である．そこで同画像データを同じ衛星の解像度の高いＨＲＰＴデータ（同：約１km×１km）を用いて解像度を上げることを試みた．既存のいくつかの手法およびこれらを改良した手法を適用し、結果を比較した．この研究は中国国家気象局衛星気象センターとの共同で行ったもので、ＨＲＰＴデータは同センターが作成したものを用いた．

４．考察

特になし

５．引用文献

なし

６．成果の発表

諸星、幾志：ＪＥＲＳ－１データを用いた裸地部の地表水分量に関する検討、
日本リモートセンシング学会、第１５回学術講演会論文集

７．関係国との協力

中国国家気象局衛星気象センターとの協力を行っている．本年度は同センターより２名の研究者が来訪し、当研究所との共同研究を行った．また、本研究項目の研究分担者が１名同センターを訪問し、同センターと共同で行う中国山東省における土壌水分の自動観測について協議し、また現地視察を行った．

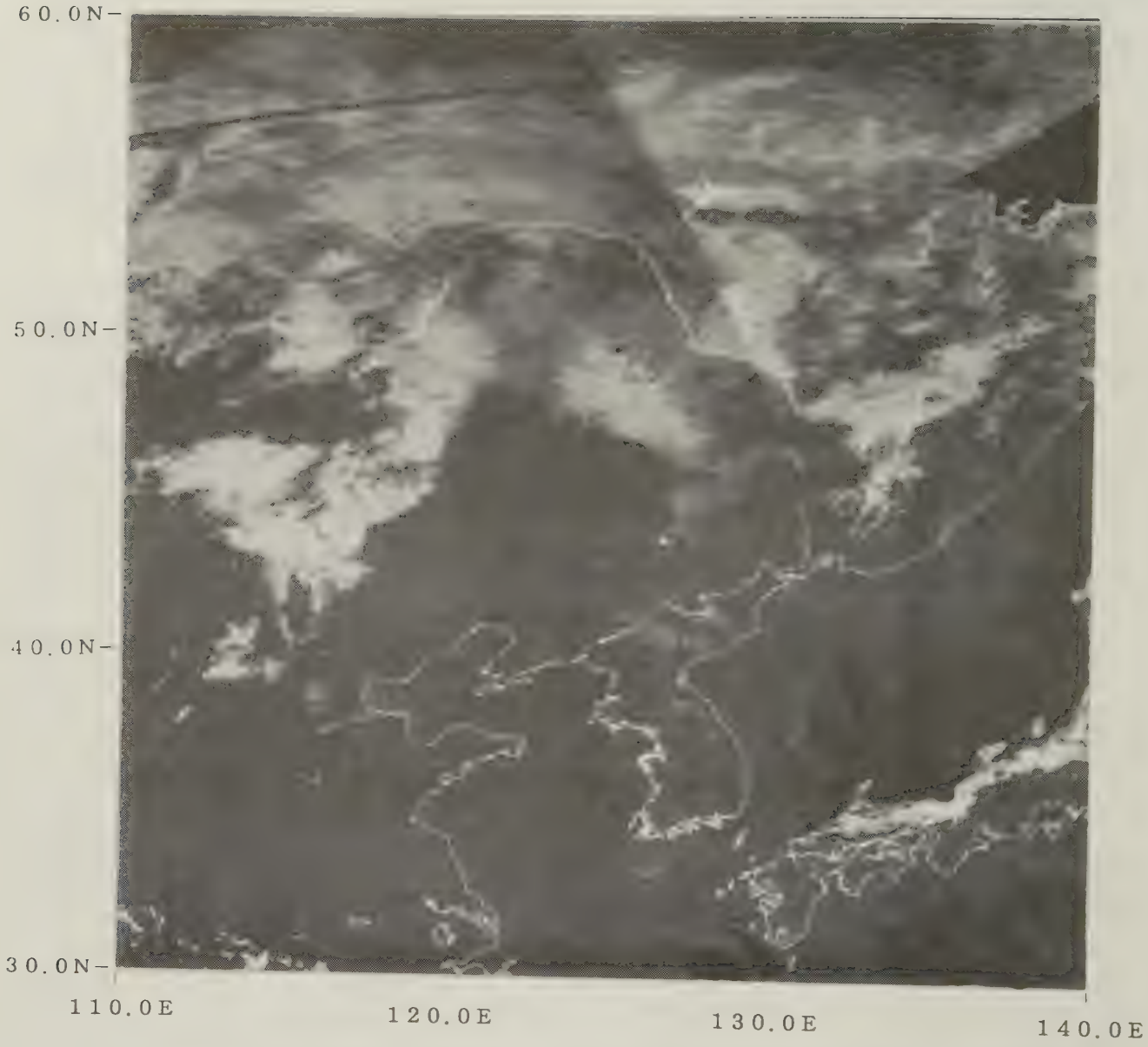


図1　中国東北部の広域積雪分布

Fig.1　Detected snow coverd area in North-east China

１９９２年２月２５日と３月３日の２つの画像を用いて雲を除去したもの

Clouds are removed by using images on Feb.25 and Mar.3, 1992

図2　黄河河口域のＪＥＲＳ－１／ＯＰＳ画像（上：バンド２、下：バンド５）

Fig.2　JERS-1/OPS image around the mouth of Yellow River.
(top: band 2, bottom: band 5)

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(３)衛星データの解析研究
Analysis of Satellite Data

② 大規模大気・海洋変動に関する解析研究
Analysis of Large-Scale Atmosphere/Ocean Variations

気象庁　気象研究所
村上　勝人、井上　豊志郎、山崎　信雄、中澤　哲夫
岡村　博文、高橋　清利、原田　知幸
Meteorological Research Institute,
Japan Meteorological Agency
M.Murakami, T.Inoue, N.Yamazaki, T.Nakazawa,
H. Okamura, K.Takahashi, T. Harada

(Abstract)

This study aims at revealing the large scale features of the Asian Monsoon by using combined INSAT-GMS IR dataset and the objective analysis data. This combined dataset consists of one degree square mesh mean TBB data observed by 3 hourly, and covers for 40°E-160°W in longitude and for 60°N-60°S in latitude.

The large scale cloudiness variations were analyzed in relation to serious floods occured in China in 1991 summer by using the INSAT-GMS combined IR dataset. It was found by this analysis that these floods occured in stronger connection with the 15-30 day mode than the 30-60 day mode. And the influence of intraseasonal mode to the diurnal variations was investigated around the South China Sea by using the one degree square mesh mean TBB by GMS. It was shown that the diurnal amplitude was enhanced over land(ocean) in the inactive (active) phase and phases were not affected so clearly.

Convective activity over the South India and sea surface temperature (SST), water vapor amount over the Arabian Sea are evaluated using split window data. Convective activity over the South India shows contrasting feature between 1987 and 1988 summer. Active convection in 1988 corresponds to rather cool SST over the Arabian Sea, while weak convection in 1987 corresponds to rather warm SST. This negative correlation between SST and convection over India agrees with current other studies. However,water vapor amount over the Arabian Sea shows positive correlation with convective activity over the South India. We understand strong monsoon westerly enhances the evaporation over the Arabian Sea even on cooler SST condition. This high water vapor amount over Arabian Sea is favorable condition on convective activity over the South India.

１．研究目的

本研究の目的は南アジア、東アジアおよび西太平洋域におけるモンスーンの大規模な雲域変動等の様相を季節内変動、インド洋域と西太平洋域との相互作用などの観点から静止気象衛星による赤外資料および高層観測資料を用いて明らかにすることにある。また衛星データから降水活動や海面温度、水蒸気量を推定する技法を開発・応用し、モンスーンに伴う大気－海洋変動の特徴ならびに相互の関連を明らかにする。

２．研究方法

平成 3年度に作成した 1991年夏季のINSAT-GMS結合赤外データを用いて、1991年 5-7月に中国の華中で起きた大洪水に伴う大規模な雲域変動について、バンドパスフィルターを用いて時空間構造の解析を行った。

また、12年間のGMS赤外データ(1度格子平均TBB)を用いて、南シナ海周辺域での対流活動の日変化に対する季節内変動の影響について、夏季（5-9月）、冬季（11-3月）毎に対流活動のactive及びinactive期でのコンポジットを作成・比較して、調べた。日変化の検出は、一日８回のTBB観測値をそのまま用いて、ﾌｰﾘｴ解析により求めた。

また１９８７年と１９８８年夏のモンスーン活動の特徴についてSplit Windowデータを用いて、インド亜大陸における対流活動とアラビア海における海面温度および水蒸気量について調べた。 Split Window（11μmと12μm）データを用いて、光学的に厚い積雲型の雲を客観的に判別し、巻雲型の雲を除去し、積雲型の雲の輝度温度を用いて対流活動を評価する。晴天域についてはＮＥＳＤＩＳ／ＮＯＡＡの方式で海面温度をまた輝度温度差を用いて水蒸気量の指標を算定した。各パラメーターについて５日平均値を用いて変動の特徴について調べた。

３．研究成果

揚子江下流域で、1991年5月22日、6月12-15日、7月1-10日に豪雨があり、記録的な洪水が発生した。この地域でのTBB時系列のスペクトルをとると15-30日成分が顕著であった。更に、この地域を含む15-30日フィルターをかけた経度時間断面図（図１）から、空間的にはその南側の領域と反対称な変動が卓越していたことがわかった。

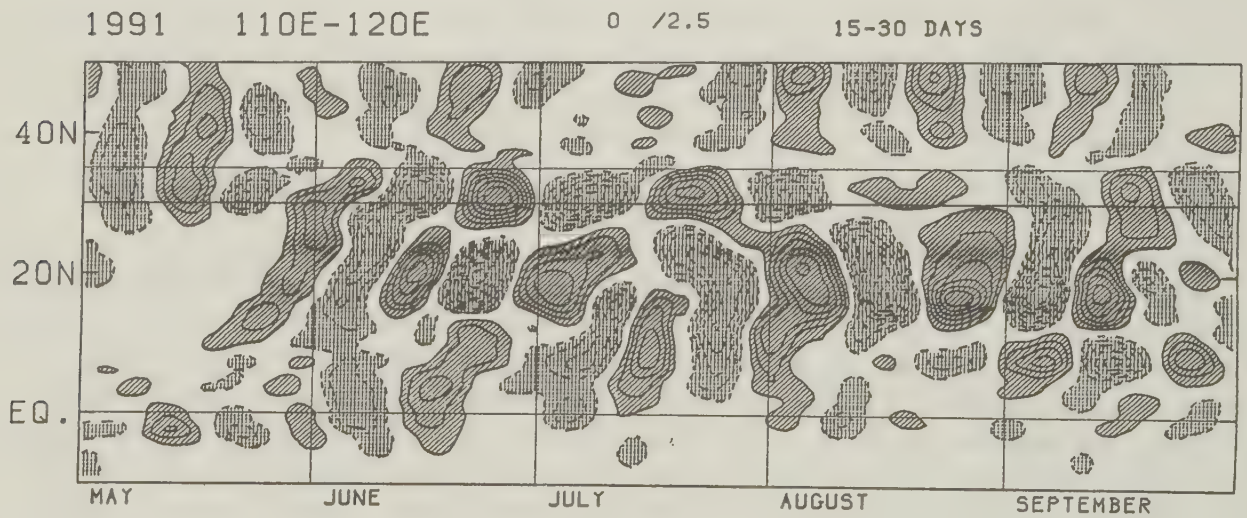


図１　1991年5-9月における、110-120Eでの15-30日周期帯のTBB偏差経度時間断面。等値線は、2.5K毎で、実（破）線は正（負）偏差を示す。ｾﾞﾛ線は省略。斜線（点影）域は2.5K以上(-2.5k以下)。

Longitude-time section of 15-30 day filtered TBB anomaly for 110-120E during May-September 1991. Contour interval is 2.5K. Solid(dashed) contours show positive(negative) ones. Shaded(doted) regions are above 2.5K(below -2.5K).

次に、夏季の場合の季節内振動の活発期と不活発期（フィリピン西方沖で定義）での日変化の差（不活発期－活発期）を見ると（図２a（b）は振幅（位相）の差）、不活発（活発）期には、陸上（海上）で日変化の振幅が大きくなるが、位相には大きな系統的変化は見られない。また、季節による大きな違いはない。

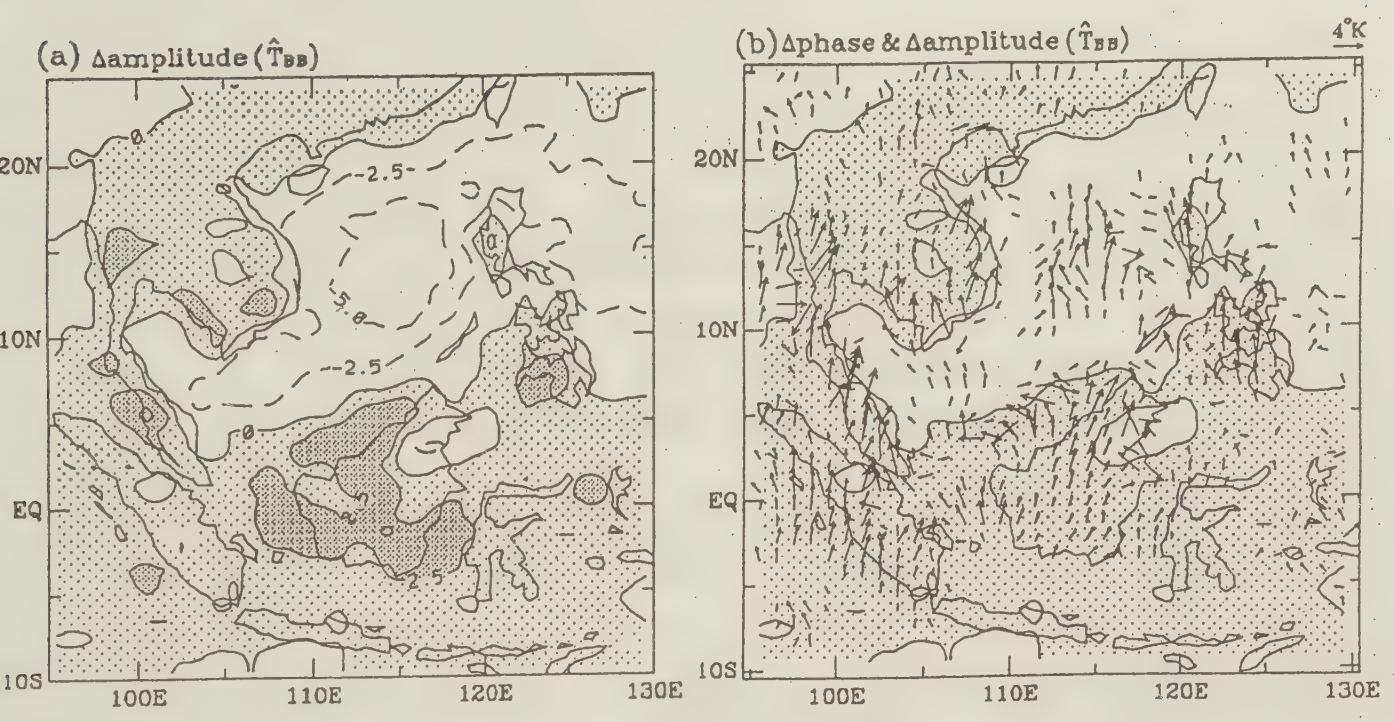


図２　(a)夏季におけるInactive期からactive期を引いた日変化の振幅差の分布。等値線は2.5K毎。実（破）線は正及び零（負）偏差。濃（淡）点影域は5(2.5)K以上。

Summer horizontal distribution of differences of diurnal amplitudes defined by subtraction of the active phase's one from the inactive. Solid(dashed) contours are positve and zero (negative). Dotted regions densely(lightly) are above 5(2.5)K.

(b)夏季におけるInactive期とactive期での日変化の位相差、振幅差（絶対値）の分布。振幅差0.5K以上を表示。ベクトルの向きは位相差（同位相の場合、 北向き。Inactive期が6時間早い場合、東向き）、長さは振幅差。

Summer horizontal distribution of differences presented in vector form of phases and amplitudes of diurnal variations between the inactive and active phases. Points having above 0.5K amplitude difference are plotted. Vector's direction shows difference of phase(for example, North means no diffrence, East means 6 hours advance of the inactive phase.), and its length indicates the absolute difference of amplitude.

次に、インドの雨量計による観測からもSplit Windowデータを用いた対流活動の指標でもインドでのモンスーン活動は１９８７年は非常に弱く、１９８８年は非常に強かったことが知られている。このちがいについてエルニーニョとの関連で大規模循環場のちがいから議論されているが、ここではもう少し小さい時間、空間スケールでアラビア海の水蒸気補給がインドモンスーンに与える影響がどうであるかの観点から調査した。晴天域におけるSplit Window（11μmと12μm）の輝度温度差（BTD = $TBB_{11\mu m} - TBB_{12\mu m}$）は大気中の水蒸気量を示す良い指標であることが放射伝達式の計算（Inoue, 1990）でも、またラジオゾンデの観測（高島等、1988）からも知られている。即ち11μmと12μmでの水蒸気による吸収特性が異なるため、海面や大気温度プロファイルが大きく変わらなければ、大気中の水蒸気が多いほどＢＴＤはより大きくなる。本年度はアラビア海でのＢＴＤについて１９８７年と１９８８年のちがいを中心に調べた。海面からの蒸発による水蒸気の補給は海面温度、海上風速、大気下層の気温および湿度に関係している。図３にアラビア海中部（10°-20°N、60°-70°E）における半旬平均海面温度の変動を示す。１９８８年には６月始めに

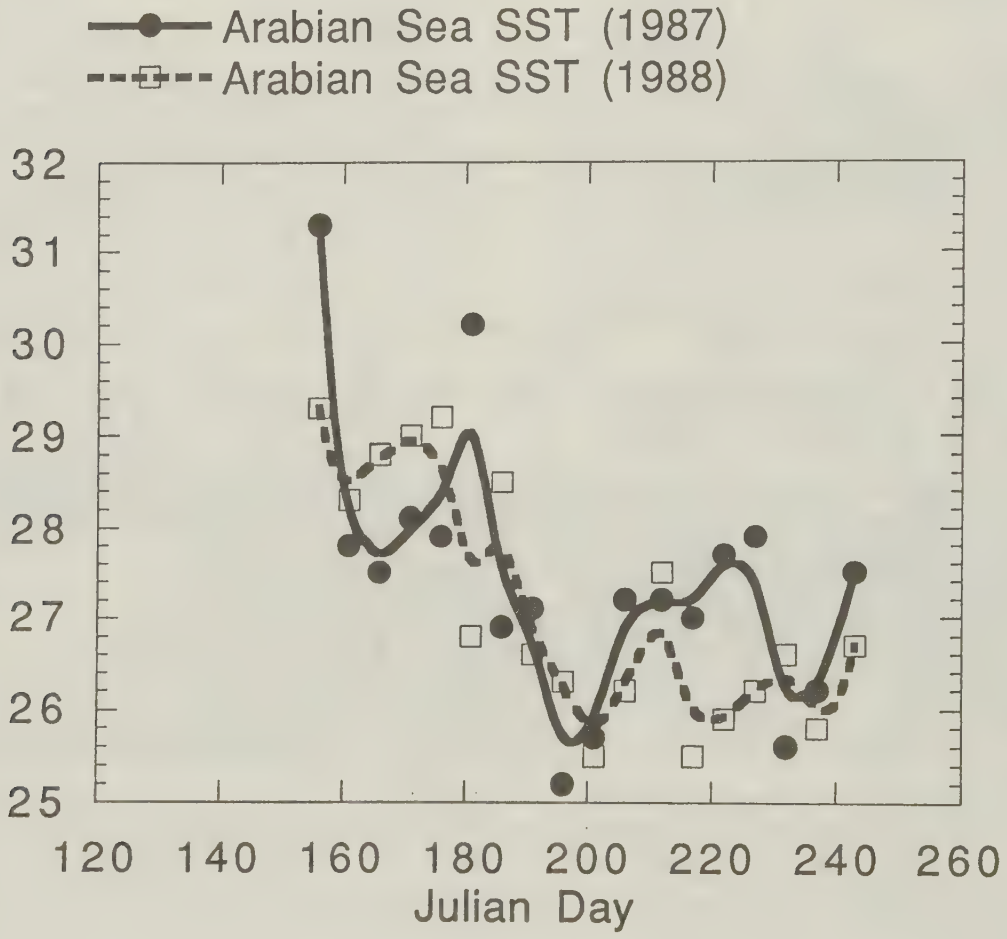


図３　　アラビア海中部（10°-20°N、60°-70°E）における海面温度

Five-day mean SST over the Arabian Sea for 1987 and 1988.

29°Cあった海面温度が急激に低下し、７－８月には26°～27°Cを示しており、１９８７年に比して７－８月は約1°C程低温である。海面温度を見る限りでは１９８８年は１９８７年に比して海面からの水蒸気の補給に関しては条件が悪い。しかし、アラビア海の海面温度がより低いということはソマリジェットおよびモンスーン西風が強いことを示唆しており、

気象庁の全球解析によるモンスーン西風は１９８８年は１９８７年に比して強いことと対応していることが分かる（図４）。図５にアラビア海中部における水蒸気量の指標を示す。

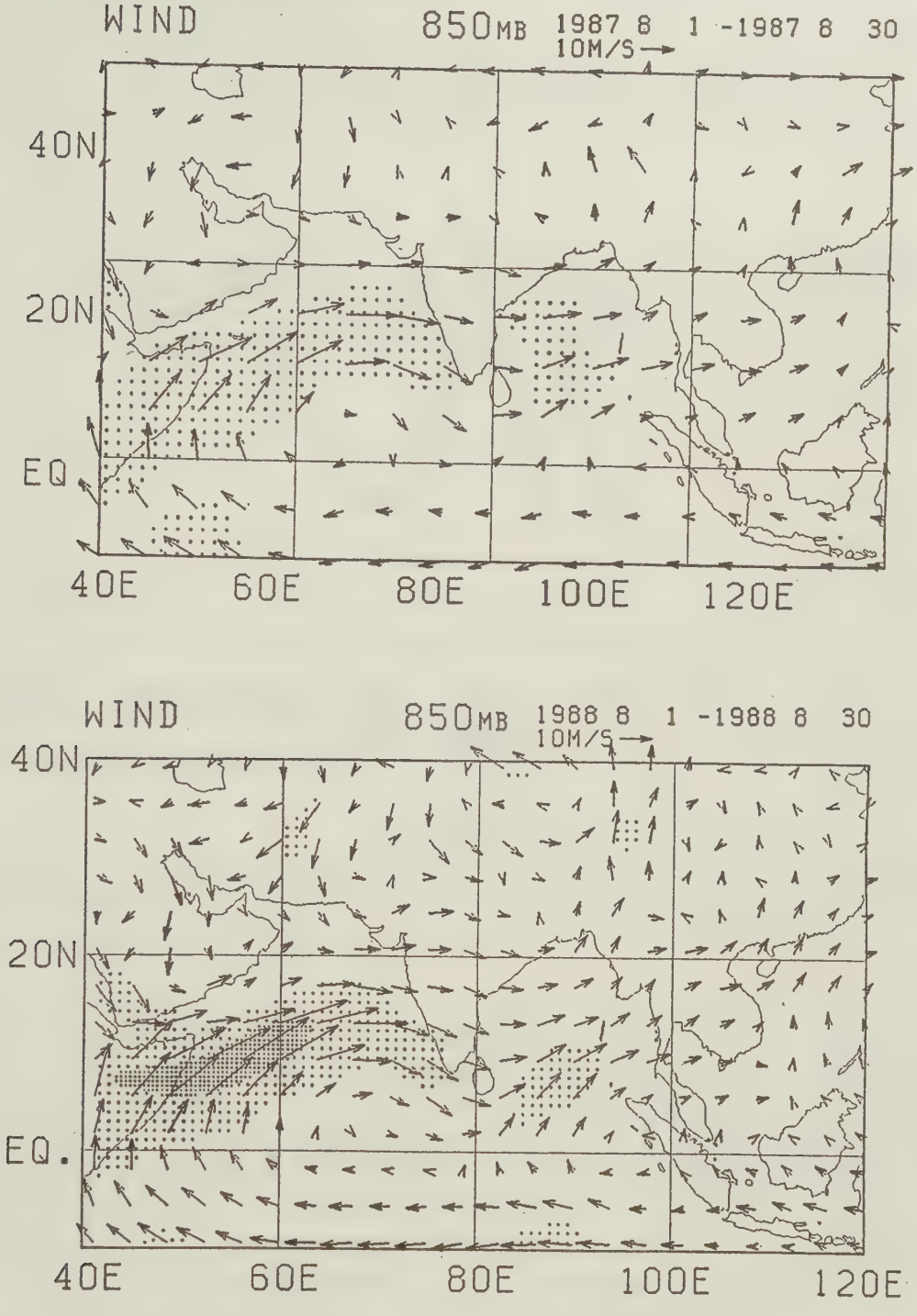


図４　　８月の平均風速場（気象庁全球解析）

Monthly mean wind field on August 1987 and 1988.

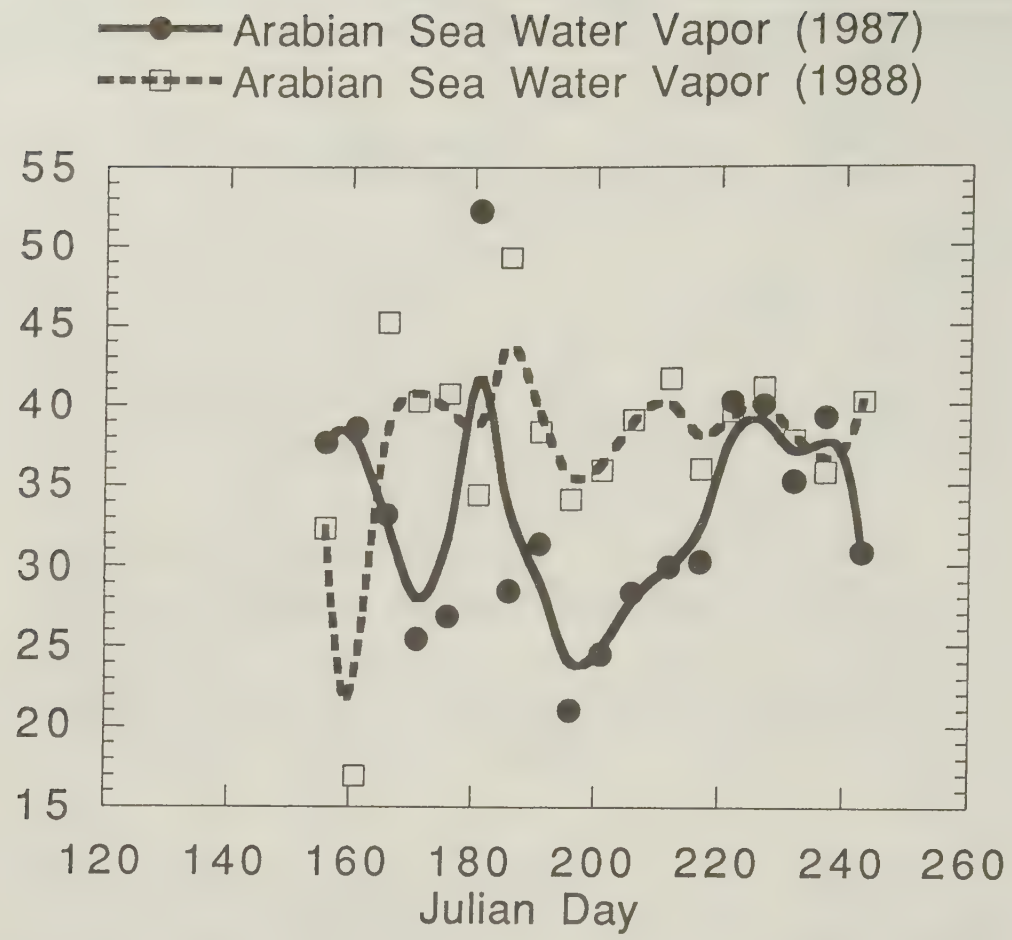


図5　　アラビア海中部における水蒸気量の指標

Five-day mean index of water vapor amount over the Arabian Sea for 1987 and 1988.

１９８８年には6月下旬から8月にかけて指標の値が４０前後で、１９８７年に比してより大きな値を示している。１９８７年には6月終わりを除き、全般に指標が小さくアラビア海における大気中の水蒸気量が少ないことを示し、インド南部における対流活動が非常に弱かった時期と対応している。モンスーン西風が卓越する時期にインドの上流に位置するアラビア海での水蒸気量が多い（少ない）ことはインドの対流活動の強化に都合が良い（悪い）わけで、１９８７年と１９８８年のインドでのモンスーン活動とアラビア海における水蒸気量が対応していると考えられる。これまでは水蒸気量についての観測データが少なく、簡単な海面温度と対流活動でモンスーン活動が議論されている。アラビア海の海面温度はインドの対流活動と負の相関があることからアラビア海の影響は小さいとされ、正の相関を持つ西太平洋の海面温度が注目されているが、今回の解析ではアラビア海の水蒸気量とインド南部での対流活動が非常に良い対応をしていることが示された。モンスーン活動においてアラビア海も相応の影響をしていることが示唆される。

４．考察

1991年の華中における豪雨では、熱帯域で顕著な30-60日振動とは異なる20日程度の振動が卓越しており、今後の解析では、このようなモンスーン活動における幾つかの固有モードの存在を考慮する必要がある。

また、日変化の解析において、海上での日変化の振幅は一般に小さいので、この解析のようにTBBをそのまま用いると、海面水温の変動まで含まれる可能性がある。閾値を設けるなど、その影響を除く工夫が必要である。

さらに、水蒸気量も重要な気象パラメーターであり、モンスーン活動と密接に関わっていることが示された。今回は水蒸気量の指標を用いたが量的な議論ができるようなアルゴリズムの開発やＳＳＭ／Ｉ等、他の衛星データの利用を考える必要がある。

また、モンスーン活動を解析する上で水蒸気フラックスの収支を見ることが重要であり、衛星データがどこまで使えるか評価する必要がある。

5．関係国との協力

平成5年3月に調印されたアジアモンスーン研究に関する日中協力の実施取極において衛星解析の分野においても資料の交換、専門家の交流を含む相互の研究協力を推進することが合意された。また、インドとの科学技術協力を課題名「アジアモンスーン研究のためのＧＭＳとＩＮＳＡＴ資料の利用」のもとで行なっている。

6．成果の発表

②口頭発表

発　表　項　目	発表者	発表年月	発表機関	掲載刊行物
Split Windowデータで観測された対流活動、海面温度および水蒸気量の季節内変動について	井上豊志郎	5年 5月	日本気象学会	1993年春季大会講演予稿集
Sea surface temperature, water vapor and covection over Asian monsoon regions, derived from split window measurements	T. Inoue	5年 7月	IAMAP ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ	同左要旨集
Rainfall estimation from split window	T. Inoue	5年 8月	IGARSS ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ	同左講演予稿集
静止衛星データを用いた熱帯域における日変化と季節内変動の解析	高橋清利 村上勝人 T.C.Chen	6年 1月	第８回大気圏ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ	同左要旨集

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（３）衛星データの解析的研究
Analysis of Satellite data

③　地球放射収支に関する観測的研究
Analysis on Earth Radiation Budget in Relation to Asian Monsoon

気象庁気象研究所
尾瀬智昭
Meteorological Research Institute
Japan Meteorological Agency
Tomoaki Ose

(Abstract)

The relationship between monthly mean shortwave and longwave cloud radiative forcings is studied using ERBE S-4 data. High negative correlations between them are found over the tropics through the subtropics, including the desert areas and the summer continents. The magnitudes of the shortwave and longwave cloud forcings are compared. The shortwave ones are 1.0-2.75 times larger than the longwave ones over most of the subtropics and the tropics. Relatively large/small shortwave ones are found in India and Southeast Asia / in the subtropical oceans. The clouds over the Sahara desert exceptionally shows the greenhouse effect.

The same analysis about cloud radiative forcings are made concerned with the GCM simulations. The model's results are comparable to the observed ones in Sahara desert and Indian Ocean. The thick clouds due to the cumulus seem to give reasonable shortwave cloud forcings. Too weak convective activity in the West and Central Pacific in the model results in the greenhouse cloud effect in those areas.

1．　研究目的

モンスーンは、太陽放射による陸面と海面の加熱差により基本的に形成されている。従って、地球放射収支(ERB)の分布を解析することは、モンスーンの入り•明け等の活動の機構を解明する上で基本的に重要である。本研究では、NIMBUS-7等によって観測されたERBの空間分布•時間変動を調べ、放射収支の立場からアジアモンスーンの形成維持変動のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

前期４年間は、NIMBUS-7およびERBE衛星による地球放射収支の観測データの解析を行ない、その空間分布時間変動を調べ、モンスーン活動との関連を調べる。後期５年間は、大気大循環モデルによるモンスーンのシュミレーション結果を放射収支の立場から検証すると共に、モデルによって得られた地表面でのエネルギー収支と併せて、総合的なエネルギー収支解析を行なう。

3. 研究成果

（１）月平均放射収支に影響を及ぼす雲の効果の定量的把握

昨年度、太陽からの短波入射量を固定した状態での放射収支の変動、すなわち、季節変化からの差を対象にして、その変動のタイプの分類を行なった。そのうち、積雲対流活発域、海洋亜熱帯域および砂漠域では、雲の放射強制力の短波成分、長波成分の間に高い負相関が見られた。短波、長波成分の両者がお互いに相殺し、雲の正味の効果が決まることになる。そこで、雲の放射強制力の短波成分、長波成分の間で、どの程度相殺し合っているかを、Cloud factor (Hratmann and Short, 1980) の形で、定量的に求めた。

用いられたデータは、1985年3月から1988年8月までのERBE S-4 データで、1985年3月から1988年2月までの各月の3年平均値からの差である。Cloud factor は、短波放射強制力(SWC)の変動／長波放射強制力(LWC)の変動（一般に負）で定義され、ここでは、最小二乗法で求められた。この定義から、雲量の変動によらない、月平均放射収支への雲の効果を知ることが期待される。

図１は、北半球夏期（４－９月）のSWCとLWCの間の相関係数を示す。海洋東岸を除くと、夏半球と冬半球に関係なく、熱帯から亜熱帯にかけて高い負相関が得られている。夏半球の大陸においても負相関は高い。これらの高い負相関自体は、雲（高い積雲や上層雲）の高度が高いことによってLWCが大きいことと関係している。

図２は、夏期（４－９月）のCloud factor がArcTan(-SWC/LWC)/10度で表されている。即ち、絶対値で見た場合、４５度以下（図の中では点で影が付けられている）は、LWCがSWCよりも大きいこと示す。これらの地域の雲では、温室効果が太陽光遮蔽の効果を上回る。１０度から１０度単位に８０度まで、SWCとLWCの比で0.18, 0.36, 0.58, 0.84, 1.19, 1.73, 2.75, 5.67を表す。斜線は、逆符号を示す。

太陽からの入射量に関係して、(-SWC/LWC)は全体的に冬半球で小さく夏半球で大きい。夏半球から熱帯域にかけてSWCの効果がLWCを上回る。海洋東岸や北極に近い地域では、SWCが雲の効果を支配する（比で5.67倍以上）。

亜熱帯から赤道域の海洋上では、(-SWC/LWC)は比較的一様で、1.19-1.73の値をとるが、雲量の多いインドから東南アジアにかけて大きい値(1.73-2.75)、亜熱帯晴天域

では小さい値（1に近い値）をとる傾向をみることができる。一般に背の高い積雲対流では、背の低い積雲対流に比べてLWCの効果は大きいが、それ以上にSWCの変動が効いていることを示す。

内陸部乾燥域では、同じ緯度の海洋上に比べて、LWCの効果が相対的に強く、特にサハラ砂漠では顕著である。この地域では、(-SWC/LWC)は0.36-0.84の値を取り、温室効果が強い。

月平均値から求められたCloud factorは、日々のデータから求めたもの(Hartmann and Doelling, 1991)と定性的に一致する。

（2）気候モデルにおける雲の効果の観測との定量的比較

（1）の観測データから求めたCloud factor値を気候モデルと比較する。現実の海面水温を与えた10年間積分のうち観測と同じ期間のデータから、同じ方法でCloud factor値を求めて、比較した。

図3は、モデルの結果であることを除けば、図1と同じである。高い負相関を示す範囲が観測に比べて狭い。特に、南半球では、高い相関は見られない。冬半球側の亜熱帯域の雲の取り扱いに問題があるのかもしれない。夏半球側でも、インド洋、太平洋西部、サハラ砂漠等乾燥域とその他小さな地域に限られていて、その相関の値も小さい。

図4は図2と同じで、ただしモデルの結果である。インド洋においては1.19-1.73の値で、雲による遮蔽効果がやや上回り観測に近い。乾燥域においても観測に近い値を取り、サハラ砂漠では、0.58-0.84の値を取る。観測と大きく異なるのは、モデルでは西部太平洋から中部太平洋にかけて雲の温室効果が認められることである。観測においても、亜熱帯域やインドネシアでCloud factorは小さくなる傾向があるものの、1.0-1.73 の値にとどまる。モデルの南半球亜熱帯域では、観測と異なって大きなCloud factor の値を取る。

図5(上)(中)(下) は、モデルにおける雲量の各経度における高度緯度分布を示す。Cloud factor が小さく雲が温室効果を示すサハラ砂漠では、下層に雲がなく上層に層状の雲がある。似た鉛直雲分布が、温室効果が見られる中部太平洋においても見られる。観測に近いCloud factor 値を示すインド洋やアフリカ中央部では、400mb以上の高度に雲が厚く広がり、高い積雲に伴って診断された雲であろう。モデルにおいては、層状雲に比べて大きな光学的厚さの雲が、積雲の発生に伴い診断されており、これが観測に近いCloud factor を与えるものと思われる。

4. 考察

亜熱帯から熱帯域の月平均放射収支では、短波放射強制力が1.0-1.7の比で長波放射強制力を上回る。これらの地域では、巻雲タイプの層状の雲よりもむしろ積雲に伴う光学的に厚い雲が、月平均放射収支では重要に思われる。

モデルにおいて、厚い雲が診断される積雲が活発なインド洋では、観測に近い

Cloud factor が得られている。中西部太平洋域で雲が温室効果を示すのは、この地域で積雲の発生が不十分で、巻雲タイプの雲が多いためである。厚い雲を設定した積雲発生の頻度分布がまず第一にモデルの放射収支に重要に思われる。

5. 引用文献

Hartmann, D. L., and D. A. Short, 1980: On the use of Earth radiation budget statistics for studies of clouds and climate. J. Atmos. Sci., 37, 1233-1250.

Hartmann, D. L., and D. Doelling, 1991: On the net radiative effectiveness of clouds. J. Geophys. Res., 96, 869-891.

6. 成果の発表

（1）口頭発表

発表者名	発表題名	発表場所
尾瀬　智昭	月平均地球放射収支から求めたCloud factor	1994 年日本気象学会春季大会

7. 関係国との協力

なし

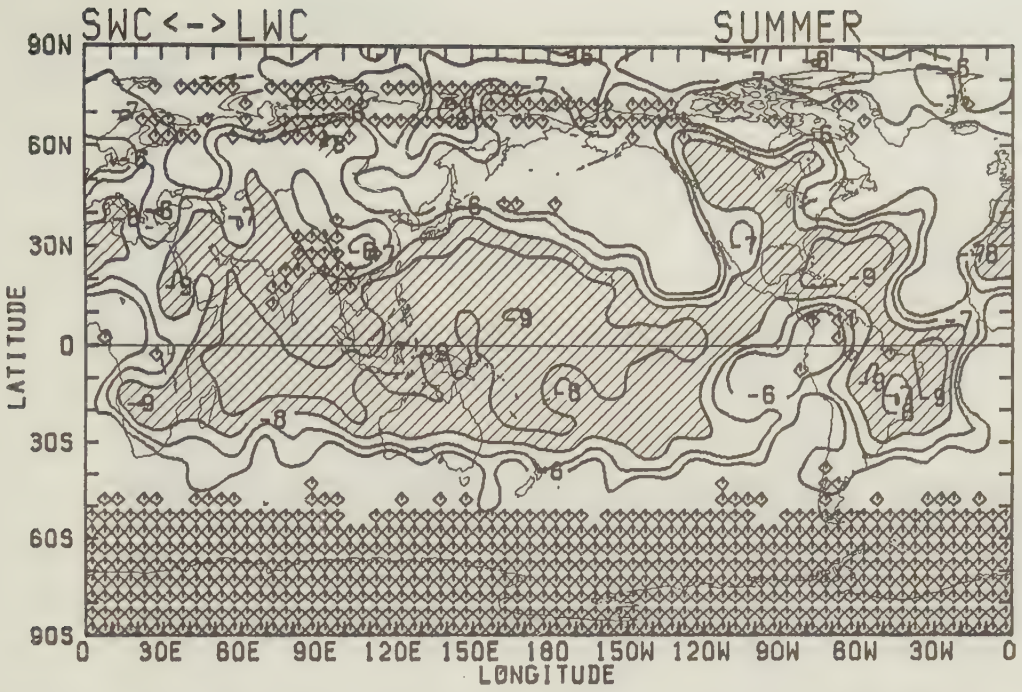


図1　ERBE S-4 観測データから求めた、夏期(4月-9月) における、雲の短波と長波放射強制力の相関係数（*0.1）。
影は、0.8 以上の高い負相関。

Fig.1 The correlation coefficient between cloud shortwave and longwave radiative forcing in ERBE S-4 data. Values are multiplied by 10.. Area with less than -0.8 is shaded.

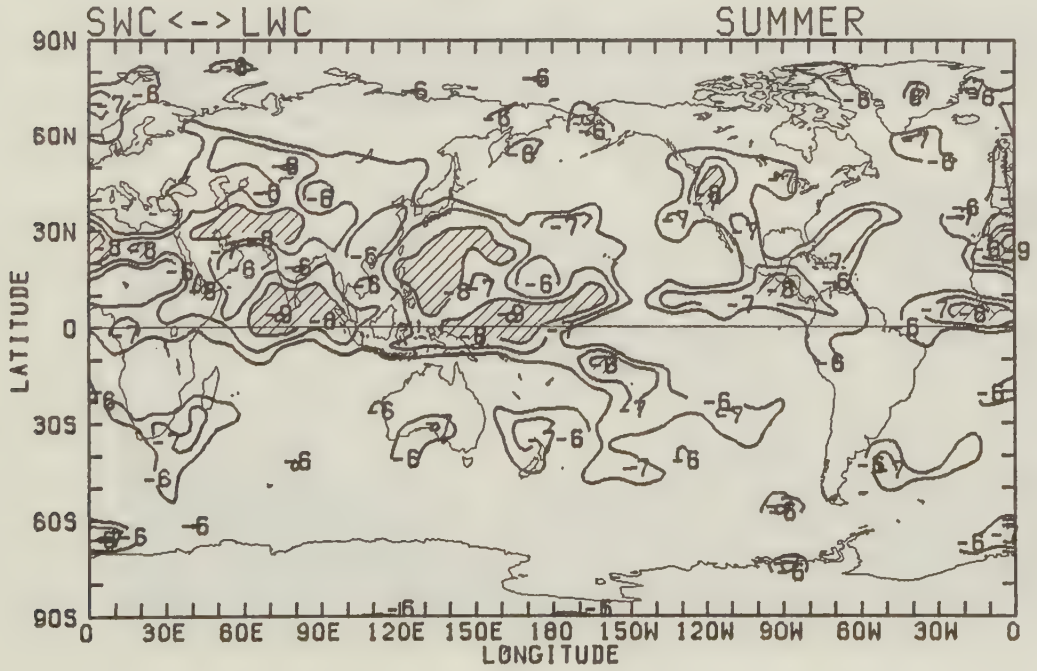


図2　図1と同じ。ただし、モデルの結果。

Fig.2 The same as Fig.1 except for the results of the climate model.

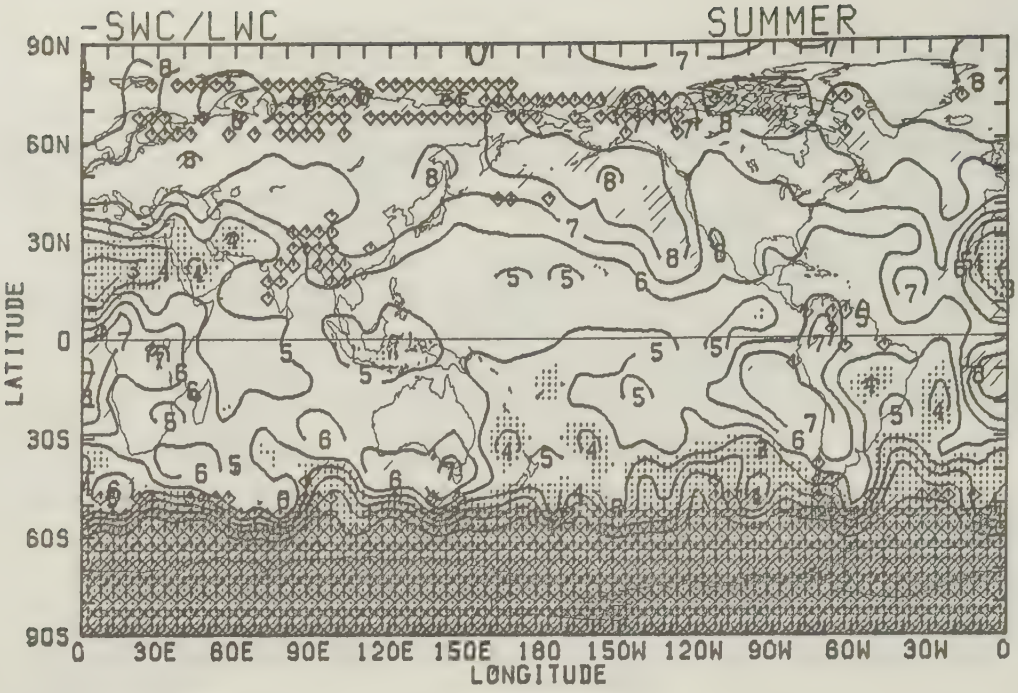


図3　ERBE S-4 観測データから求めた、夏期 (4月-9月) におけるCloud factor。ここでは、ArcTan (雲の短波と長波放射強制力の比の大きさ)を１０度単位で示す。影は、長波強制力が短波強制力を上回る地域。

Fig.3　The cloud factor obtained from ERBE S-4 data. That is shown here in terms of Arctan(shortwave cloud radiative forcing/longwave cloud radiative forcing)/10 degree. Shaded areas are where longwave cloud radiative forcing overcompensates shortwave one.

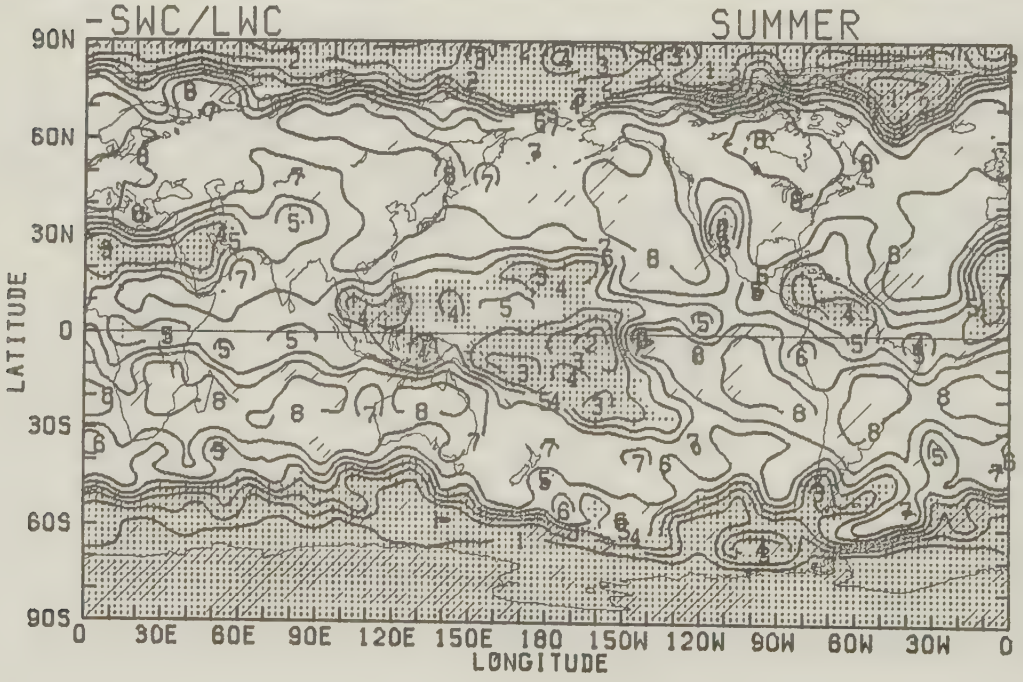
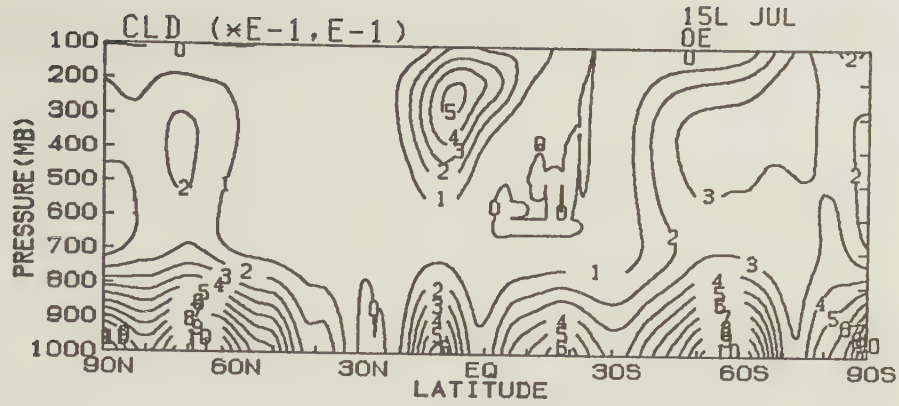
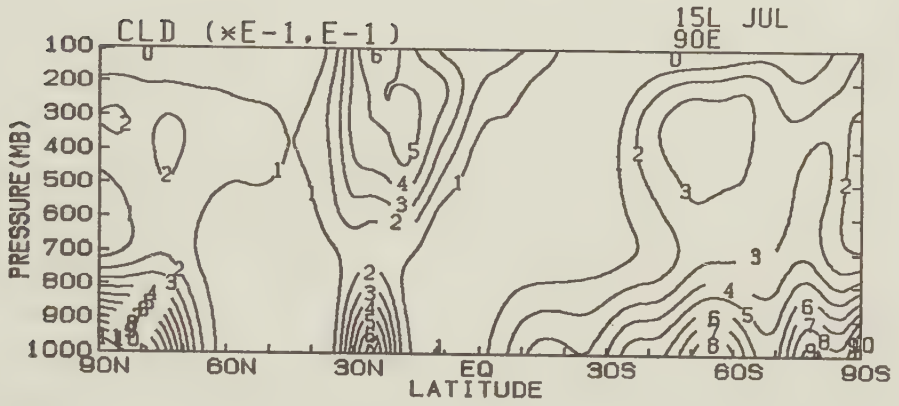


図4　モデルの結果であることを除いては、図３と同じ。

Fig.4　The same as Fig.3 except for the model's results.





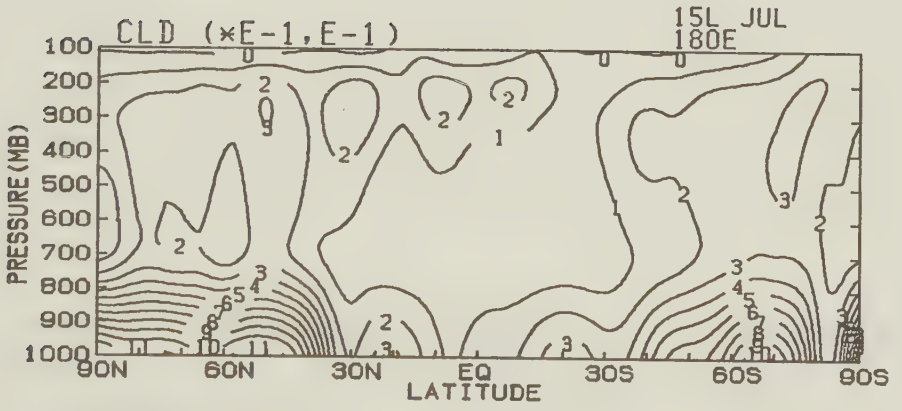


図5　モデルの雲量の各経度における緯度高度分布図。（上）0°、（中）90°E、（下）180°。

Fig.5　The simulated cloudiness in latitude-height section at 0° (upper), 90° E (middle), 180°(lower)。

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(4) 地域水収支に関する解析研究
Analytical Study of Water Balance on Representative River Basins

科学技術庁防災科学技術研究所
岸井徳雄、矢崎　忍、葛葉泰久、
杉田　文
National Research Institute for Earth
Science and Disaster Prevention,
Science and Technology Agency
T.Kishii, S.Yazaki, Y. Kuzuha,
F.Sugita

(Abstract)The activity of Asia monsoon is influenced by water cycle and change of water cycle affect Asia monsoon. This study aims to clarify water balance of the regional scale in China. For the purpose hydrological data base, the element are precipitation, runff, evapotransipiration, temperature, humidity wind velocity and radiation, has been made. Using this database the monthly rainfall and runoff are analyzed. Further more the experimental basin is established and the detailed analysis of water balance in the basin is scheduled.

This report shows the water balance of Huai He River from 1983 to 1991.

The source of data base is ″The monthly meteorological data in China (1987)″. These data contain temperature, humidity and precipitation etc. of 196 meteorological stations.

The result is following. Yearly runoff ratio of Huai He River from 0.2 to 0.5. This indicate that rainfall losses are very large compare to the runoff ratios of Japanese river basins. Annual rainfall ranges from 600mm to 1,500mm.

1．研究目的

アジアモンスーン変動は、各地域の水の循環によって大きな影響を受け、又、水の循環の変動はアジアモンスーンに大きな影響を与える。本研究は、このモンスーン変動にとって重要な水の収支について、中国を対象地域として研究を行うものである。具体的には、中国における水文資料（降水、流出、蒸発、気温、湿度、風、日照等）の水収支の研究に必要なデータを収集し、データベース化する。

次に、それを用いて、水収支の解明に重要な水文要素である降水の年々変動について解析を行うとともに中国内に流出試験地を設け、この流域内で精密な水文観測を行い、地域の水収支を明らかにするとともにこの長期変動とアジアモンスーンとの関係

について研究し長期的な水収支の予測に役立てようとするものである。

2．研究方法

今年度は、水文資料のベータベース化と淮河流域の水収支解析を行った。
データベース化に用いた資料は、中国地面気象記録月報（北京気象局発行）である。本月報には中国内196地点の水文・気象要素（降水、気温、風、積雪、日照、気圧、地温等）が掲載されている。これらデータを各月毎に観測地点順に数値化し、フロッピーディスクに収納したものである。今年度は、1987年の資料をデータベース化した。

次に淮河流域の水収支解析に用いた資料は、共同研究機関である中国水利部遙感技術応用中心から提供を受けたもので1983-1991年の流域内10地点の日単位降水量および河川流量である。

淮河流域は、中国の代表的河川である黄河と長江の間に位置する。この河川は、中国の東海岸にあり、その流域のほとんどは平地である。本川は、北西から南東に向かって流下し、主な支川はこの河川の北側にある。
これらの水文データの内、中流より上流の４地点（図１）の日単位降水量および河川流量を解析した。それは、下流地点では、流域界の同定が困難なこと、多くの湖沼があること、河床勾配が小さいこと、人工的な水利用が多いこと等により流出解析の結果の信頼性に問題があると推定されたからである。

3．研究成果

淮河流域の水収支解析の結果を以下に述べる。
本流域の年降水量は、600mmから1,500mmであり、年流出量は100mmから700mmである。また、損失量は、年降水量700mmで600mm、1000mmで700mm、1500mmで900mmと年降水量の増大と共に増加する傾向があることが明かとなった（図２）。　年流出率は0.2-0.5とわが国の河川流域の年流出率に比較して非常に小さい。

また、中流から上流に向かって４地点のハイドログラフを1983-1991年まで示したのが図３－図６である。この図から分かるように、ハイドログラフのピークは、上流から下流に向かうにしたがって、河道貯留の影響で　小さく平滑化されて行くことが分かる。

また、それぞれの地点の1983年-1991年の降水量を図７－図１０に示す。

4．考察

中国の淮河流域の降水量および流出量資料を用いて、水収支を解析した。
その結果、年流出率は、0.2-0.5とわが国の河川流域の年流出率に比べ非常に小さいこと、したがって損失量が非常に多いこと（蒸発散量が、かなり多いと推定される）が明かとなった。また、ハイドログラフは、河道貯留の影響で上流から下流に行くに従って平滑化が顕著であることがわかった。

5．成果の発表

岸井　徳雄・曹　述互(1994)：中国淮河の水収支．　水文・水資源学会1994年度研究発表会要旨集

6．関係国との研究協力

中国側研究者代表

中国水利部遙感技術応用中心

所長　曹　述互

以上

図１．淮河流域と水文観測点（C:蚌埠,B:魯台子,F:淮濱,H:息県）
FIG.1 Huai He River basin and hydrological stations
(C:Paupu,B:Rutai,F:Huaipin,H:Shishen)

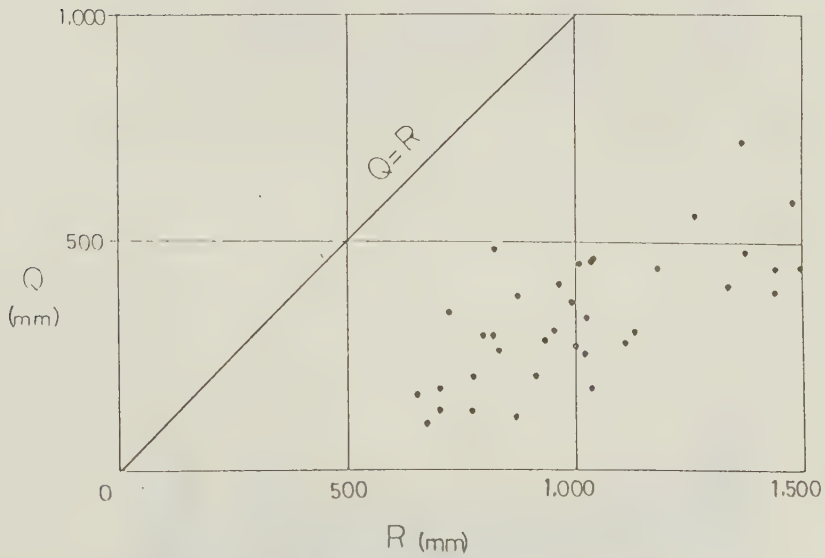


図２．淮河流域の年降雨量－年流出量関係
FIG.2 Yearly rainfall and runoff relation in Huai He River basin

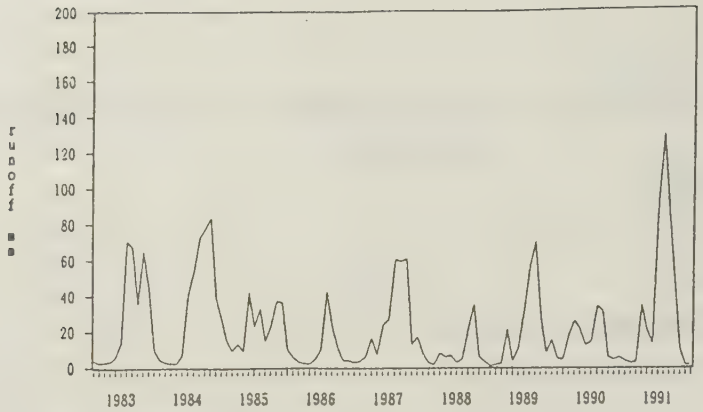


図３．蚌埠観測点（C）のハイドログラフ（1983-1991）

FIG.3 Hydrograph at Paupu(C)(1983-1991)

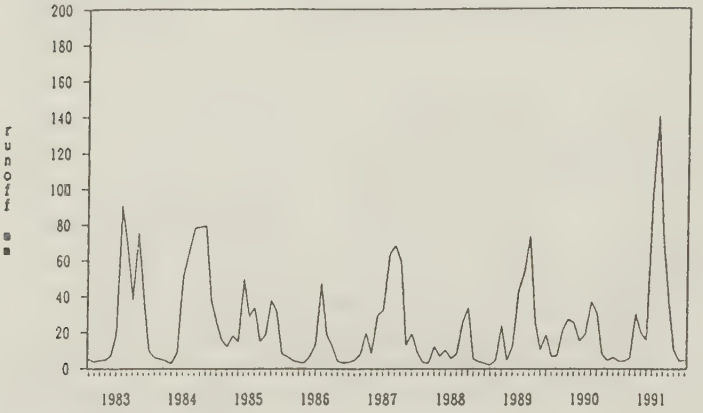


図４．魯台子観測点（B）のハイドログラフ（1983-1991）

FIG.4 Hydrograph at Rutai(B)(1983-1991)

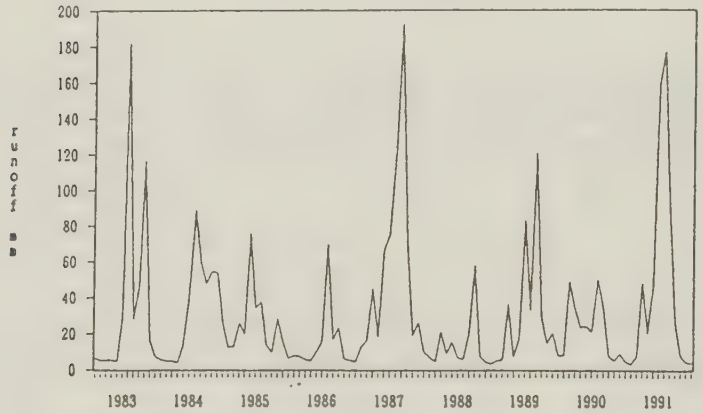


図５．淮濱観測点（F）のハイドログラフ（1983-1991）

FIG.5 Hydrograph at Huaipin(F)(1983-1991)

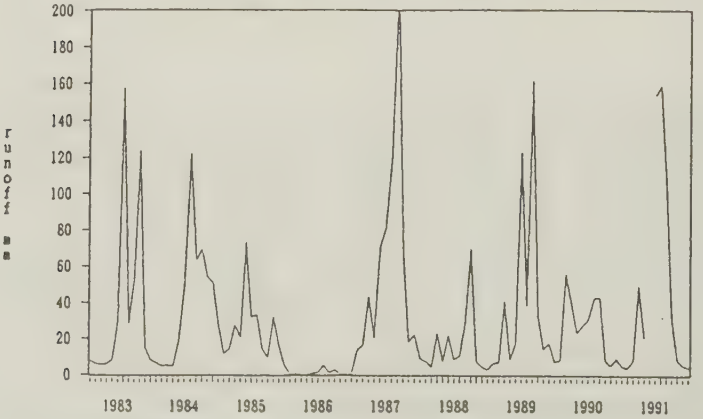


図６．息具観測点（H）のハイドログラフ（1983-1991）

FIG.6 Hydrograph at Shishen (H)(1983-1991)

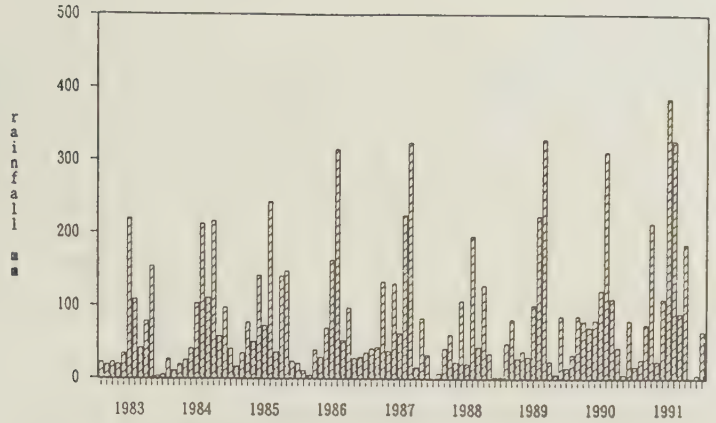


図７．蚌埠観測点（C）のハイエトグラフ（1983-1991）

FIG.7 Hyetograph at Paupu(C)(1983-1991)

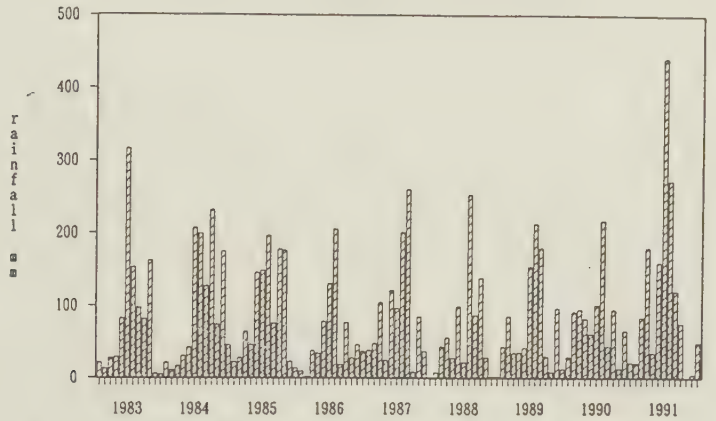


図８．魯台子観測点（B）のハイエトグラフ（1983-1991）

FIG.8 Hyetograph at Rutai (B)(1983-1991)

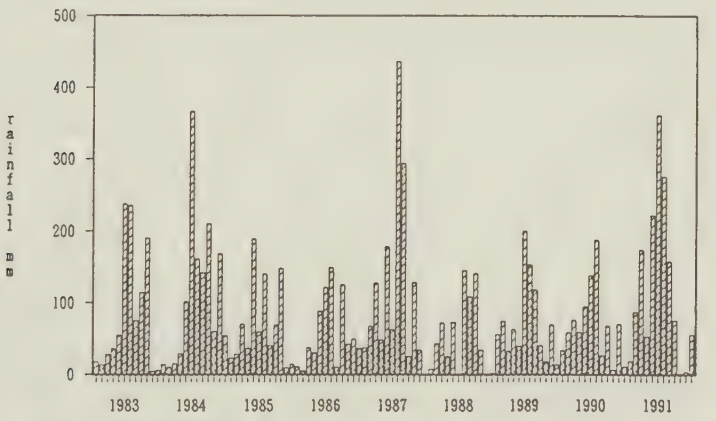


図９．淮濱観測点（F）のハイエトグラフ（1983-1991）

FIG.9 Hyetograph at Huaipin (F)(1983-1991)

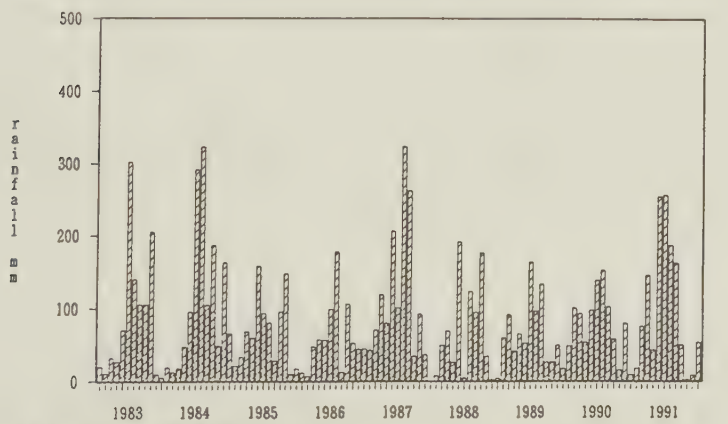


図１０．息県観測点（H）のハイエトグラフ（1983-1991）

FIG.10 Hyetograph at Shishen (H)(1983-1991)

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(5)大気・海洋・陸面間の相互作用に関する解析的研究
Analytical study on Air-Sea-Land Interactions

① モンスーン降水系の解析
Analysis of Precipitation Systems in Asian Monsoon Region

気象庁気象研究所
田中　実、森　一正
Meteorological Research Institute
Japan Meteorological Agency
M.Tanaka, K.Mori

(Abstract) The purposes of this study are: Collect rainfall, surface, upper air, GMS and other data. Analyze precipitation systems in the Asian monsoon region. Create visual data of precipitation system using the personal computer and video. The data for this study are collected from the published and exchanged materials with emphasis on the rainfall and GMS data. During fifth year of this study, the daily rainfall data for India 80 stations (1988-90) were obtained.

Using these and the data collected in previous year following analysis were carried out:

(1)Using the 5-day mean GMS data, the onset and retreat dates of the summer monsoon in Asia, Western Pacific,Indonesia,Australia and New Guinea using 15-year climatology from 1978 to 1992 were analyzed.(FIG. 1 and 2) This analysis showed that convective clouds are enhanced over the land areas where a tendency for early onset and late retreat of the summer monsoon clouds is observed.

(2)The videotapes of the GMS IR data of seasonal and interannual change due to El Nino of the monsoon high-cloud amount for Asian and Australian regions were created.

(3)Analysis of the structure of the precipitation systems in northern Australia using radar data obtained by a joint research with Australian Bureau of Meteorological Research (BMRC) are initiated (FIG. 3).

Currently, we are planning to update the daily rainfall data for the Asian monsoon region. We are continuing the analysis of the precipitation systems in this region. These analysis are: Analysis of the interannual change of the GMS high cloud amount over the Asia-west Pacific and Australian region. Analysis of the relationship between the high cloud amount and the the atmospheric circulation and sea surface temperatures.

1．研究目的

本研究は、アジアモンスーン地域における降水量・ＧＭＳ等の観測データの収集、モンスーン降水系の解析を行いアジア地域の気候変動予測技術向上を目指す。

2・研究方法

（1）定常観測及びＧＭＳ・レーダー・降水量等のデータの収集を行う。
（2）モンスーン地域における降水系の年々変動・季節変化・季節内変動及び構造の解析を行う。
（3）パソコン・ビデオ等を使用した映像データの作成。

3・研究成果

（1）データの収集
インドにおける８０地点の３年間（１９８８－９０）の日降水量データを入手した。

（2）モンスーン降水系の解析
インドネシア・オーストラリア地域におけるＧＭＳ上層雲量による夏のモンスーンの開始から終了までの季節変化陸上を含めて解析した。（図１）（図２）　この結果これらの地域で雨期の開始・終了日がわかつた。
さらに陸上では付近の海上に比べて、日射による加熱のため対流活動が活発で、雲量による開始日は早く、終了日は遅れる傾向がみとめられた。
モンスーン降水系の構造の解析をオーストラリア気象局（ＢＭＲＣ）との共同研究で入手したレーダーデータを利用して着手した。（図３）
（3）パソコン・ビデオ等を利用した映像データの作成
アジア・オーストラリア地域のＧＭＳ上層雲量による季節変化及びＥｌ　Ｎｉｎｏ現象による年々変動のを映像を、ビデオテープ化した。

4・考察

これまでの調査により東南アジア地域におけるＧＭＳ上層雲量の季節変化や日本の雨期の特性、モンスーン降水系の構造等を解析した。今後はその他のモンスーン地域の解析や、より時間・空間的にきめ細かい解析が必要である。　このため次のような調査・解析を行いたい。
（1）データの収集
月定常観測・月降水量データの収集。モンスーン地域における毎日の降水量の収集。ＧＭＳ資料等のデータの収集を行う。
（2）モンスーン降水系の解析
東南アジア・東アジア・西太平洋における夏のモンスーン季の年々変動をＧＭＳ上層雲量を利用して解析する。
熱帯太平洋の降水系の変動及び構造の解析を継続する。
インドネシア・オーストラリア地域のモンスーンの年々変動をＧＭＳ上層雲量を利用して解析する。
（3）映像データの作成
上記のデータや解析結果のうち映像化に適したデータのパソコン・ビデオ等による映像化を継続する。
（4）本研究は平成６年度から”大規模積雲対流活動と降水系に関する解析研究”の一部として継続される。

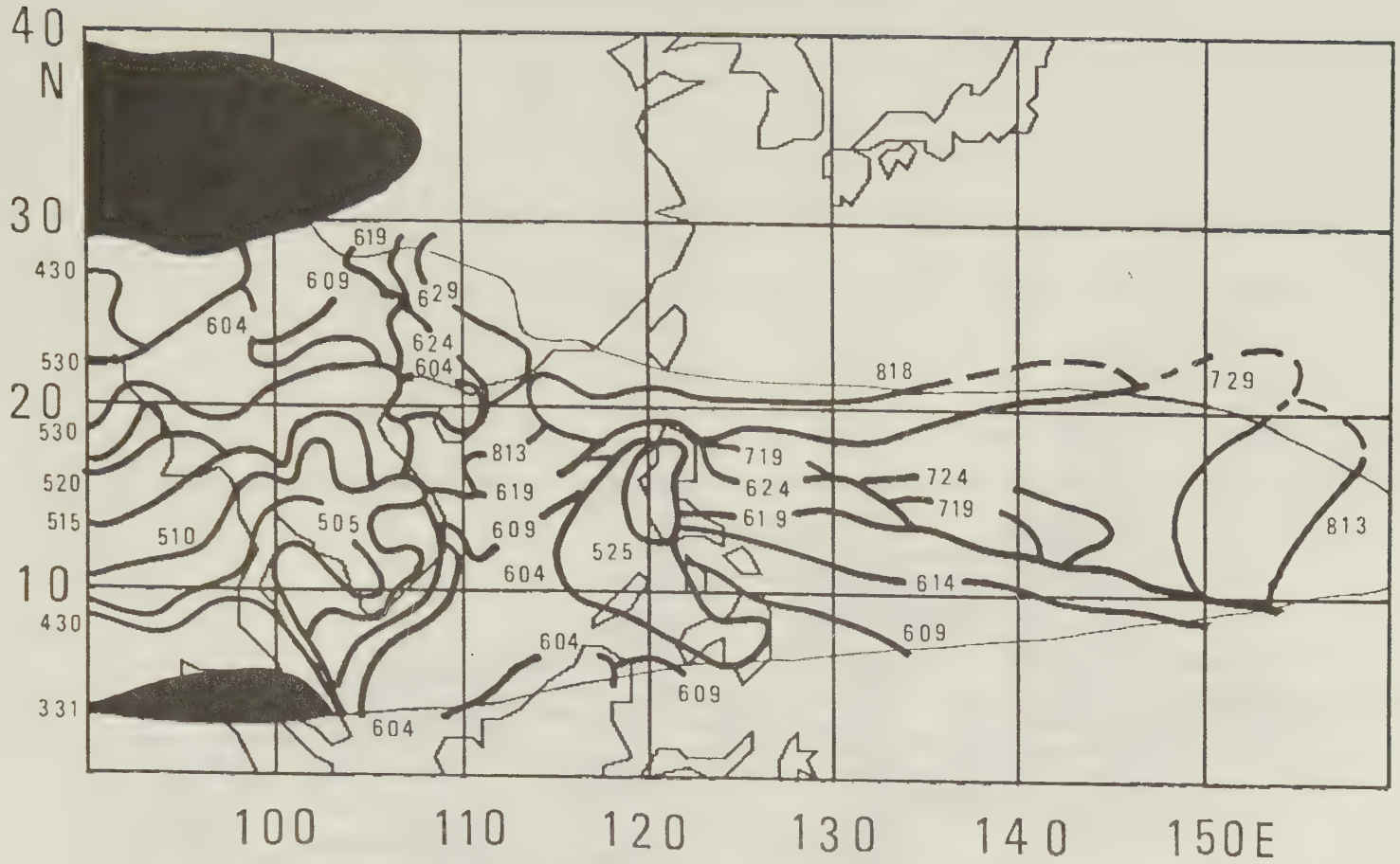


図１　５日平均ＧＭＳ上層雲量の平年値によつて決定した熱帯モンスーンの開始日。細い線は雲量の年変化が２０％以上のモンスーン地域。開始日は上層雲量が３０％以上の最初の半旬。黒い地域は赤道以北で３月３１日以前に上層雲量が３０％以上になる地域。

FIG. 1 Onset dates defined by the threshold value of more than 30 percent of the 1978-92 mean high cloud amount for tropical (ITCZ related) monsoon season. The last day of each pentad is shown on the thick countour line defining the northern limit of the area where the mean onset dates are observed in a given pentad.

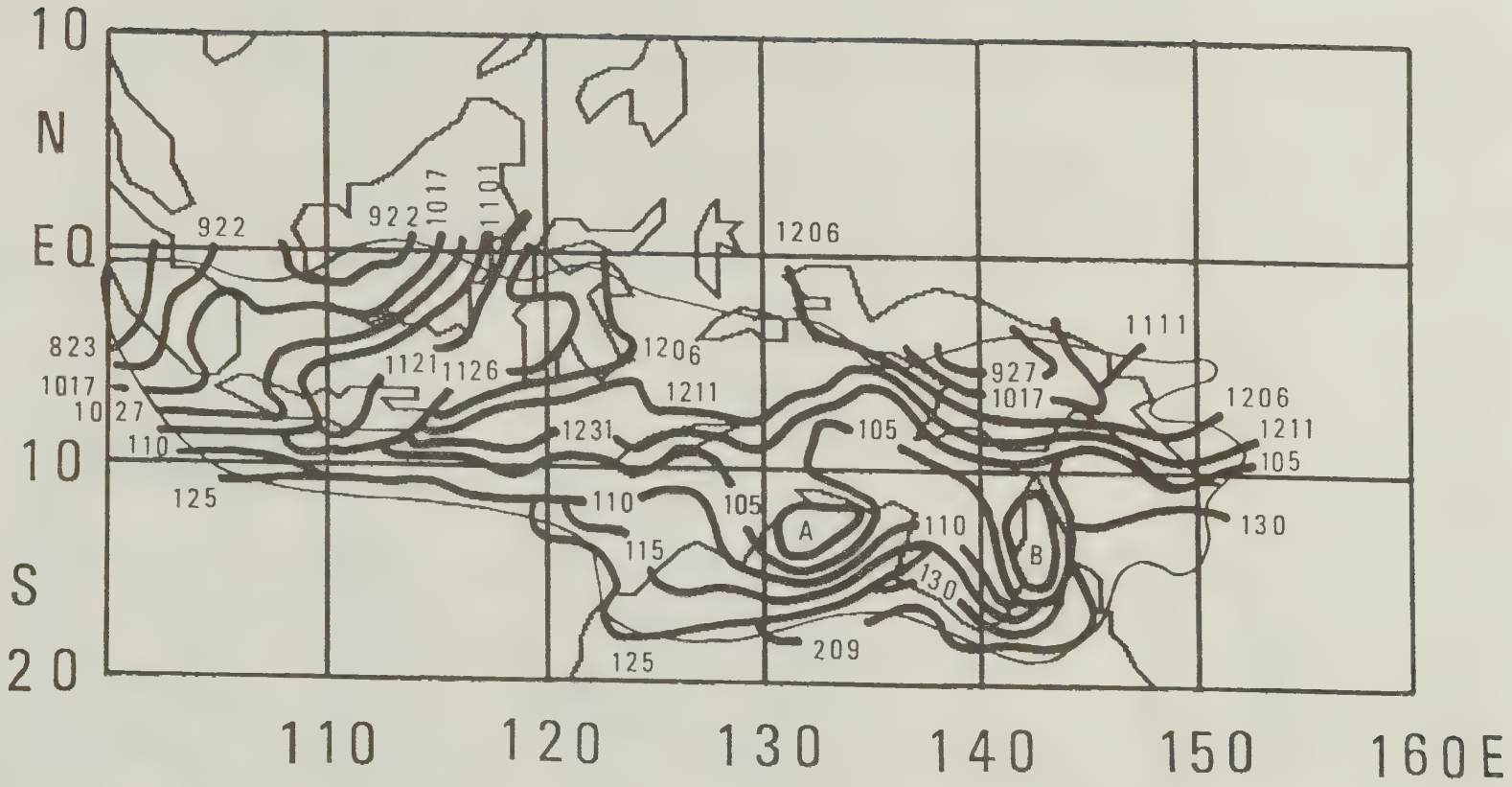


図２　図１と同じ、ただしインドネシア・オーストラリア地域。

FIG. 2 Same as Fig. 1, but for Indonesia,Australian regions..

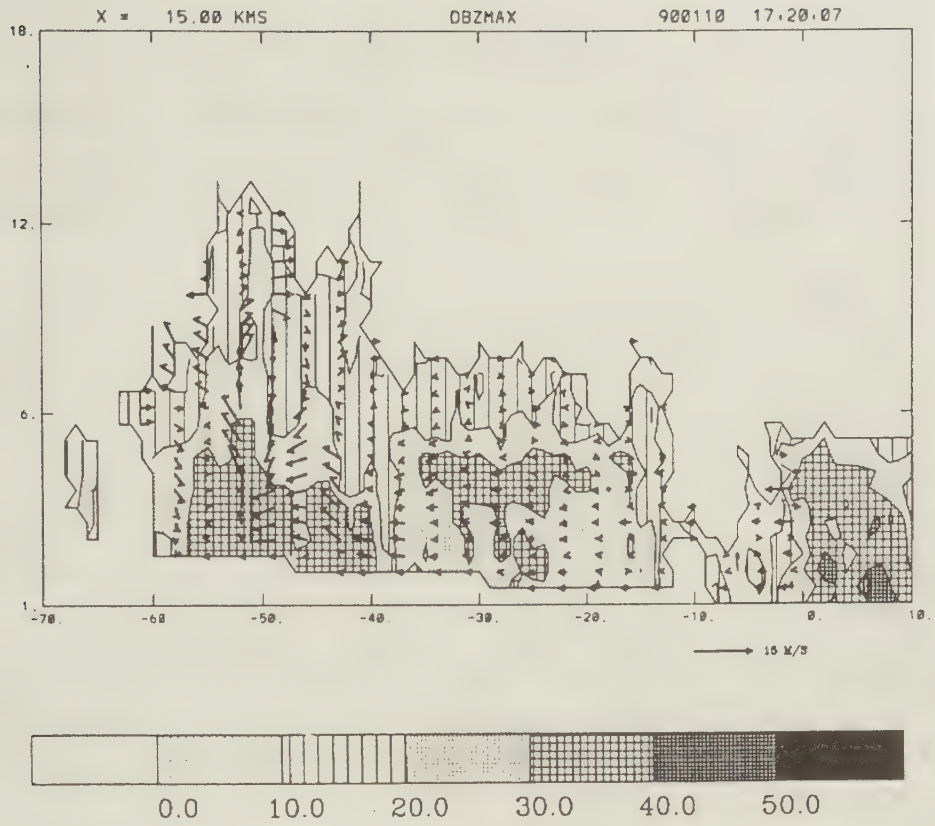


図３　１９９０年１月１０日のドップラーレーダーのエコー。
図は降水系の東西断面（右は東）を示す。複数の積乱雲が発達し、
それらが融合し、複雑な構造を持つ降水系になつている。
図の下のスケールは反射強度（ｄｂｚ）を示す。

FIG. 3 The doppler radar echo showing east-west cross section of the precipitaing system at 10 January 1990 near Darwin. Several developing convective clouds merged to form complex structure shown here. The scale below this figure shows the reflectivity in dbz.

6．研究成果の発表

発表項目	発表者	発表年月	発表機関	掲載刊行物
ＧＭＳ上層雲量による東南アジア地域におけるモンスーン開始の年々変動	田中　実	1990年5月	日本気象学会	1990年春季大会予稿集
レーダ、ＧＭＳデータを使つたメソスケール熱帯擾乱の解析	森一正 丸山健人	1990年5月	日本気象学会	1990年春季大会予稿集
降水日の継続性からみた梅雨期と秋雨期の比較	秋山孝子	1990年5月	日本気象学会	1990年春季大会予稿集
西部熱帯太平洋上のクラウドクラスターのレーダー観測	森一正 飛田良 田中　実 丸山健人 本多庸浩	1990年10月	日本気象学会	1990年秋季大会予稿集
熱帯西部太平洋における大規模じょう乱の解析（ＩＩ）	田中　実	1990年10月	日本気象学会	1990年秋季大会予稿集
ＧＭＳ上層雲量によるアジア・西太平洋上における夏のモンスーン季の季節変化	田中　実	1991年5月	日本気象学会	1991年春季大会予稿集
西部熱帯太平洋域における、1990年11月1991年 1月のクラウドクラスターのレーダー観測－凌風丸レーダーを使つて－	森一正 加藤　徹 田中　実 丸山健人 本田庸浩	1991年5月	日本気象学会	1991年春季大会予稿集
ＧＭＳ赤外画像でとらえたピナツボ火山の噴煙	田中　実	1991年10月	日本気象学会	1991年秋季大会予稿集

発表項目	発表者	発表年月	発表機関	掲載刊行物
ＧＭＳ上層雲量によるインドネシア・オーストラリアにおけるモンスーンの季節変化	田中　実	1991年10月	日本気象学会	1991年秋季大会予稿集
梅雨期の日降水量分布の特徴	秋山孝子	1991年10月	日本気象学会	1991年秋季大会予稿集
降水日の継続性からみた梅雨期と秋雨期の比較　その２　降水域の空間変動	秋山孝子	1991年10月	日本気象学会	1991年秋季大会予稿集
Internal structure and time evolution of cloud clusters in the western tropical Pacific region observed by Keifu-Maru	Mori.K R.Tobita	1991年12月	メソ気象学とTAMEXに関す国際集会	Proceedings of International Conference on Mesoscale Meteorology and TAMEX
（論文） Intraseasonal Oscillation and the onset and retreat dates of the summer monsoon over East, Southeast Asia and the Western Pacific region using GMS high cloud amount data	Tanaka Minoru	1992年2月	日本気象学会	気象集誌 Vol.70, 483-499.
ＧＭＳ上層雲量によるアジア・西太平洋上における夏季モンスーンの季節内変動の年々変動	田中　実	1992年5月	日本気象学会	1992年春季大会予稿集
西部熱帯太平洋上のクラウドクラスターのレーダー観測（続）－啓風丸９１－０５次観測航海速報－	森一正 田中　実	1992年5月	日本気象学会	1992年春季大会予稿集

発表項目	発表者	発表年月	発表機関	掲載刊行物
Intraseasonal and interannual oscillation and the onset and retreat dates of the summer monsoon over East, Southeast Asia and the western Pacific region using GMS high cloud amount data	Tanaka Minoru	1992年 9月	International symposium on Asian monsoon	Proceedings of International symposium on Asian monsoon
（論文） Internal structure and time evolution of a cloud cluster in the western tropical Pacific region observed by Keifu-Maru	Mori Kazumasa	1992年 12月	日本気象学会	気象集誌 Vol. 70, 1111-1124.
アジア・西太平洋・オーストラリア地域における熱帯モンスーンの上層風による開始・終了日の解析	田中　実	1993年 5月	日本気象学会	1993年春季 大会予稿集
啓風丸ＴＯＧＡ－ＣＯＡＲＥ観測速報	森一正	1993年 5月	日本気象学会	1993年春季 大会予稿集
The onset and retreat dates of the summer monsoon and its interannual variations over East, Southeast Asia and the Western Pacific region using GMS high cloud amount data	Tanaka Minoru	1993年 7月	IAMAP, IAHS Joint International meeting	Abstract for IAMAP, IAHS Joint International meeting

発表項目	発表者	発表年月	発表機関	掲載刊行物
アジア・西太平洋オーストラリア地域における熱帯モンスーンのGMS上層雲量による陸上を含めた開始・終了日の解析	田中　実	1993年10月	日本気象学会	1993年秋季大会予稿集

1．大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

（5）大気・海洋・陸面間の相互作用に関する解析研究
Analytical study on Air-Sea-Land Interactions

② モンスーン循環系の総合的解析
Comprehensive Analysis of Asian Monsoon Circulation System

気象庁予報部
長期予報課
工藤達也、小沢芳郎
Long-Range Forecast Division
Forecast Department
Japan Meteorological Agency
T. Kudo, Y. Kozawa

(Abstract) The height fields of 500 hPa in the Northern Hemisphere are analyzed by means of correlation and composite methods with respect to the Sea surface temperature (SST) of the Indian Ocean (10°N-10°S, 60-100°E).

Figure 1 shows the distribution of simultaneous correlation coefficients between the SST and the 500 hPa height fields for every season. There are wide positive correlation areas in the south of 30°N throughout the year.

The difference between the 500 hPa height fields with warm SST and those with cold SST is also studied with the aid of composite maps during the period from 1976 to 1990. Where, a year in which positive (negative) SST anomalies through July to August exceed the standard deviation is defined as a warm (cold) SST year. Three warm SST years are 1983, 1987 and 1988, while cold SST years are 1978 and 1989.

Figures 2a and 2b are composite maps of 500 hPa height and its anomalies, with warm SST and cold SST respectively. Comparing Fig. 2a and 2b, it is noted that the positive (negative) anomalies of 500 hPa height prevail in the area to the south of Japan in the warm (cold) SST years. These features show that the subtropical anticyclone in summer exists south of Japan when the Indian Ocean is warm.

It is noteworthy that the area of positive correlation extends northwestward from the Sea of Okhotsk to the East Siberia as shown in Fig. 1. While over the corresponding area of the composite map with warm SST (Fig. 2a), 500 hPa height anomalies are positive. This implies that the Okhotsk High develops more in a warm SST summer than in a cold one.

1．研究目的

アジアモンスーン循環は、数十日～数年の長期変動をしており、大気大循環や世界・日本の天候に大きな影響を与えている。本研究は、高層・地上観測データ、海洋データ、陸面データを総合的に解析することにより、モンスーン循環の長期変動の実態と変動機構を明らかにするとともに、大気大循環や日本・世界の天候に及ぼす影響の評価を行う。

2．研究方法

日本の夏の天候に影響を及ぼす亜熱帯高気圧やオホーツク海高気圧の動向とインド洋の海面水温との関連を調べるために、インド洋の海面水温と北半球の500hPa高度場との相関解析を行い、またインド洋の海面水温が高温および低温の時の500hPa高度場の合成図解析を行った。

3．研究成果

1961～1990年のデータをもとに、10°S～10°N、60°E～ 100°Eのインド洋における海域（以下で単にインド洋という時はこの海域をいう）での平均海面水温と、北半球500hPa高度との同時相関を季節別に求めたものを図１に示した。一年間を通じ、どの季節でもほぼ30°N以南に顕著な正相関域が広がっている。一方、冬（12～２月）に、北太平洋で負相関、北アメリカ大陸で正相関が顕著に現れている。

インド洋での海面水温が、標準偏差の値を超えて高い年、あるいは標準偏差より低い年を、それぞれ選んで合成図解析を行った（図２）。1976～1990年の７～８月において、インド洋の海面水温が高い年は、1983年、1987年、1988年があり、低い年には、1978年と1989年とがある。

500hPa高度場の合成図解析によると、インド洋の海面水温が高い（低い）年には、日本の南の海上では高度偏差が正（負）である。これは図１の相関解析で、30°N以南の熱帯域が正の相関にあることと対応している。また日本付近では、インド洋の海面水温が高い年には500hPa高度は負偏差で、低い年には正偏差である。こうした結果はインド洋の海面水温が高いときには、夏の亜熱帯高気圧が日本の南に位置していて、日本付近への高気圧の張り出しが弱いことを示している。

図１において、オホーツク海から東シベリアにかけての地域では夏（６～８月）には正相関が見られる。この正相関は７～８月の２カ月平均ではさらに顕著である。合成図解析（図２）でも、インド洋の海面水温が高いときにはバイカル湖の東で正偏差になっている。このようなことは、インド洋の海面水温が高いときにはオホーツク海高気圧が発達しやすく、海面水温が低いときにはオホーツク海高気圧が発達しにくいという関係にあることを示している。

4．考察

Nitta and Yamada（1989）によると、インド洋の海面水温は1970年代後半以降上昇傾向にある。海面水温との各種の関係などにおいて年代による相違も見られる。例えば図２の合成図解析において、解析期間を1961～1990年に長くすると、図３に示したように、図２と比べてインド洋の海面水温が高い（低い）ときの日本付近の500hPa高度の負（正）偏差域が狭くなる。またインド洋と他の海域の海面水温との相関係数を年代ごとに求めると（図４）、熱帯域に正の相関域があることは共通しているが、相関係数の大きさは年代によって大きく異なっている。こうした点についてはさらに研究を進める必要がある。

5．引用文献

Nitta, Ts. and S. Yamada; J. Meteor. Soc. Japan, **67**, 375～383 (1989)

6．成果の発表

小沢芳郎、インド洋の海面水温と500hPa高度との関係、長期予報研究誌グロースベッター、第３３巻第１号、印刷予定、平成６年

7．関係国との協力

なし

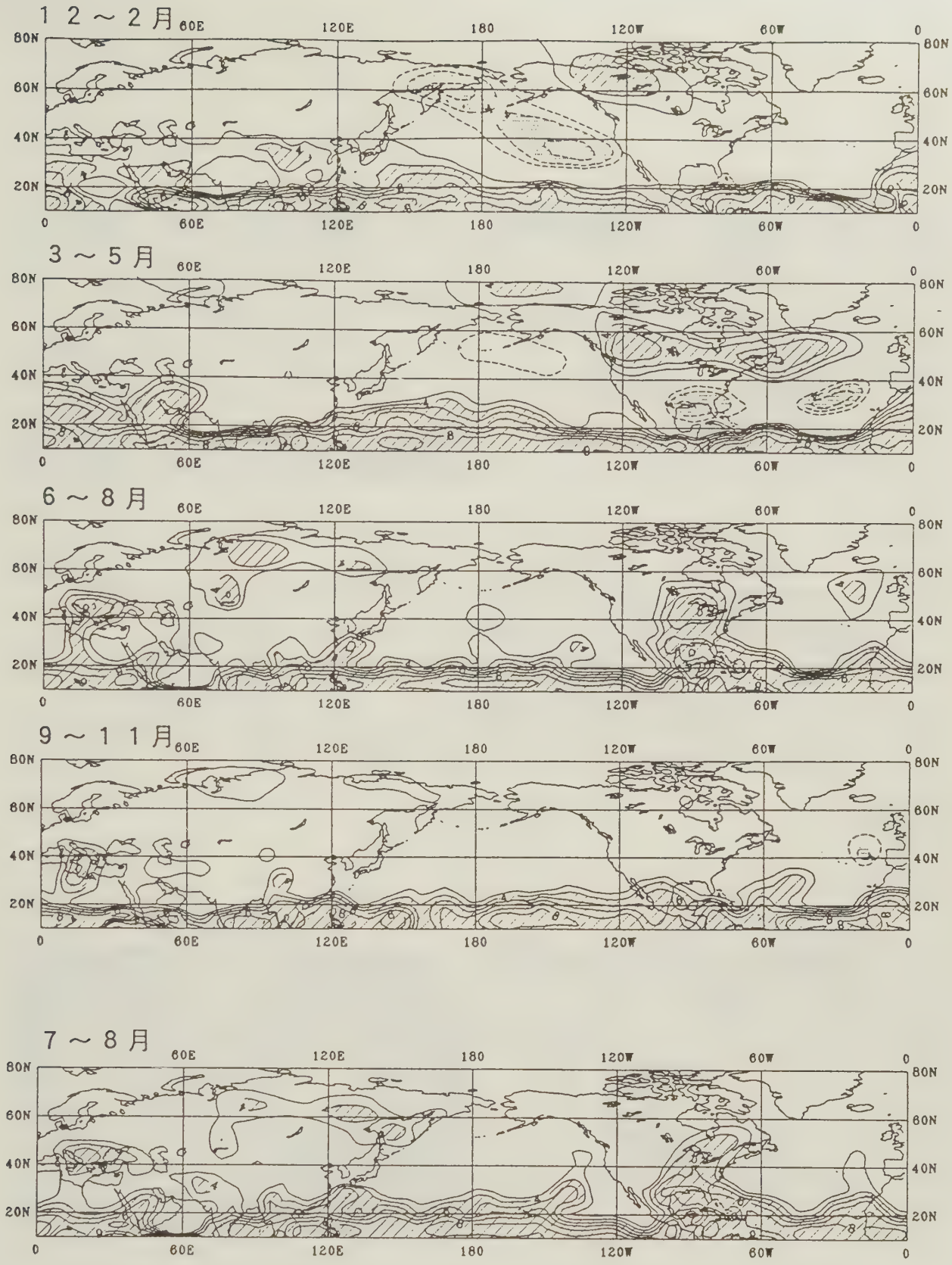


図1 インド洋（10°S～10°N, 60°E～100°E）の海面水温と北半球500hPa高度との同時相関の分布
等値線の間隔は0.1、斜線部は0.4以上の領域を示す。

Fig. 1 The distribution of simultaneous correlations between sea surface temperatures in the Indian Ocean and 500 hPa heights in the Northern Hemisphere.
Contour interval is 0.1. Shading corresponds to the region where correlation coefficients are greater than 0.4.

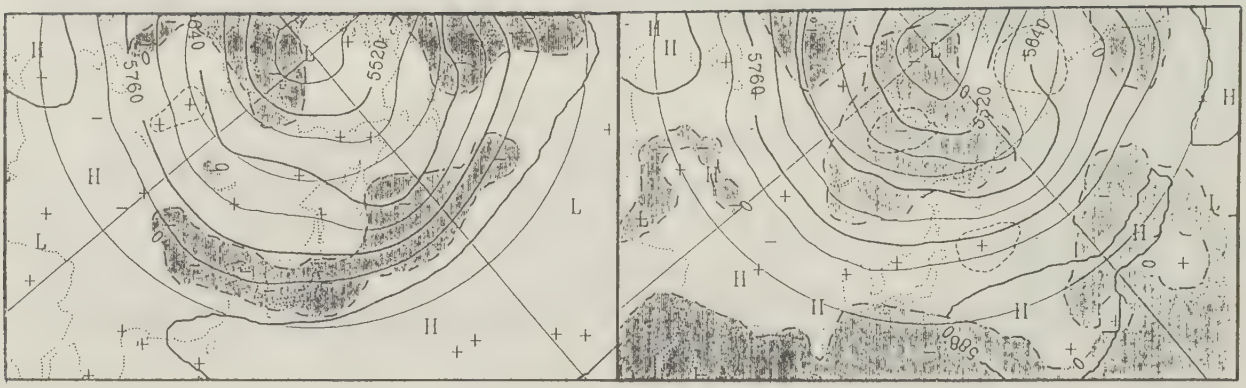


図２ インド洋の海面水温が高い年（左）と低い年（右）の７～８月の北半球500 hPa高度の合成図（解析期間は1976～1990年）
実線は等高線、破線は高度の平年偏差。高度の等値線間隔は60m、平年偏差の等値線間隔は30m。陰影は負偏差域を示す。

Fig. 2 Composite maps of 500 hPa heights and their anomalies through July to August for warm (left) and cold (right) years during the period from 1976 to 1990.
Solid and broken lines show height and its anomaly, respectively. Contour intervals of height and its anomaly are 60m and 30m, respectively. Negative anomalies are shaded.

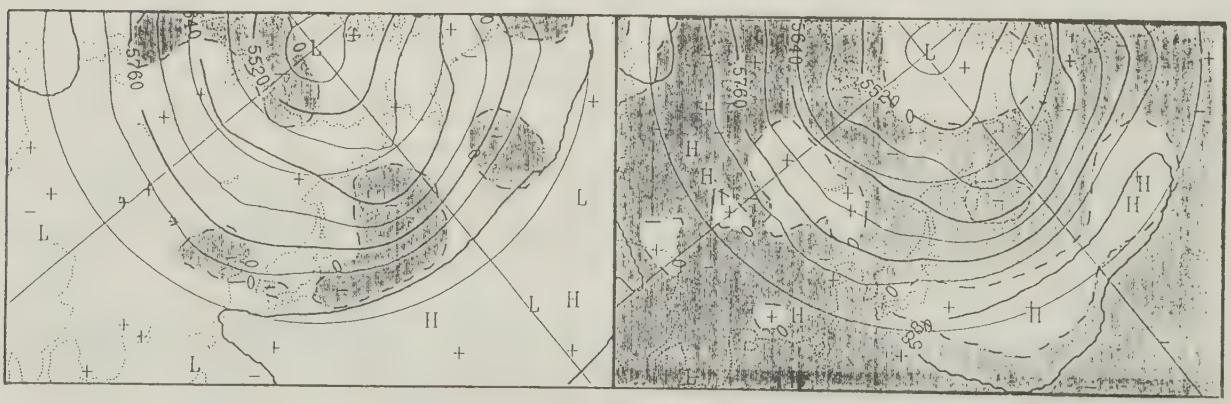


図３ インド洋の海面水温が高い年（左）と低い年（右）の７～８月の北半球500 hPa高度の合成図（解析期間は1961～1990年）
図の表現方法は図２と同じ。

Fig. 3 Composite maps of 500 hPa heights and their anomalies through July to August for warm (left) and cold (right) years during the period from 1961 to 1990.
The expressions are the same as Fig. 2.

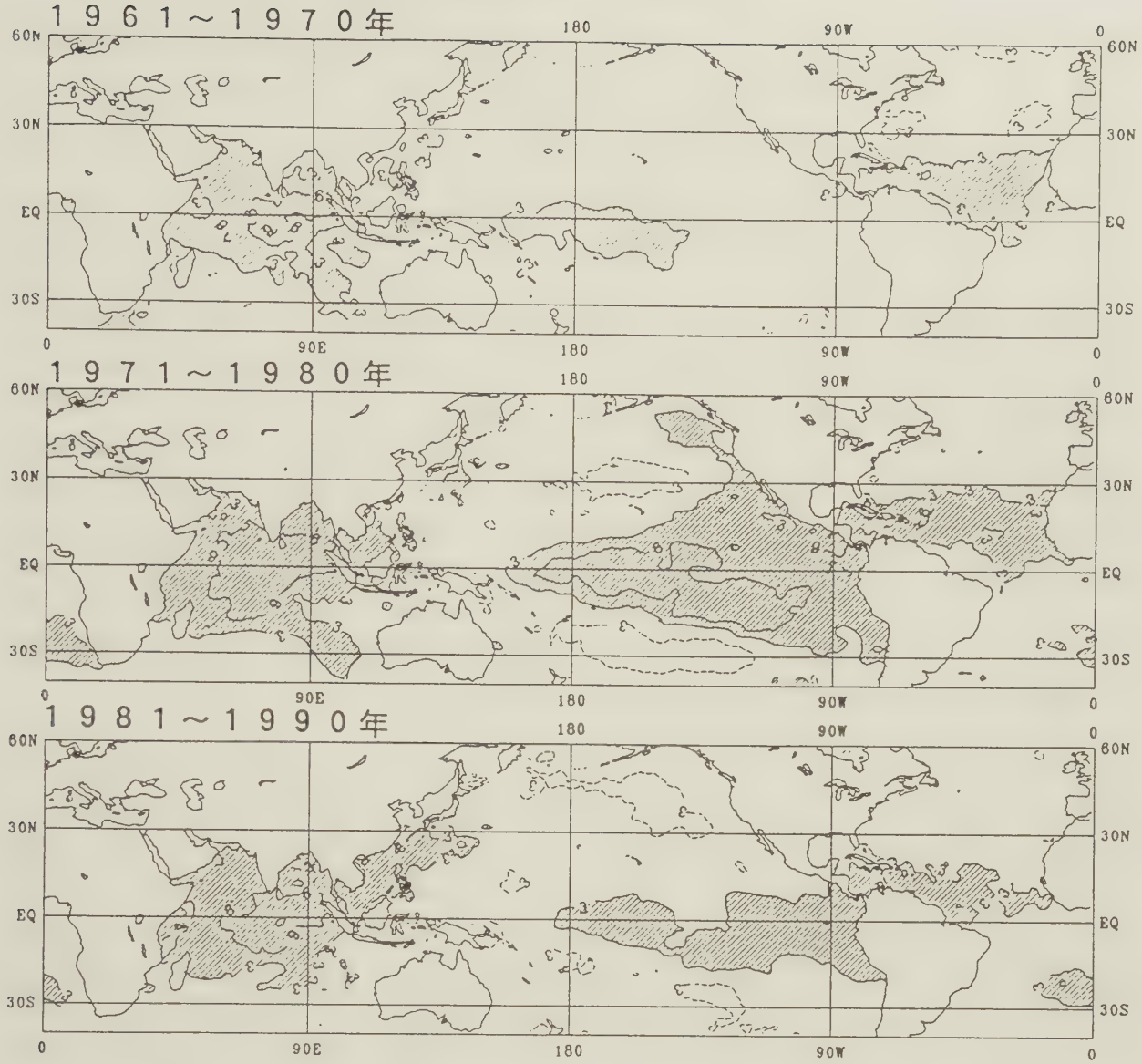


図4 インド洋の海面水温と他の海域の海面水温との同時相関の分布。
等値線の間隔は0.3、実線は正、破線は負、斜線部は0.3以上の領域を示す。

Fig. 4 The distribution of simultaneous correlations between sea surface temperatures in the Indian Ocean and other sea area. Contour interval is 0.3. Solid and broken lines show positive and negative correlations, respectively. Shading corresponds to the region where correlation coefficients are greater than 0.3.

２．数値モデルによる実験研究
Development/Experiment on Numerical Models

（１）広域水収支モデルの開発に関する研究
Numerical Study on Regional Water Balance Model in Asia

科学技術庁防災科学技術研究所
中根 和郎，幾志 新吉
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Science and Technology Agency.
K. Nakane and S. Kishi

(Abstract) The numerical model of the regional water balance for assessing the variations of water resources and the water contents in the soil due to the fluctuation of Asian monsoon, is necessary. GCM(General Circuration Model) is generally used for simulating global climate and weather. Though some hydrological processes on the land surface are considered in this model and the model could calculates evapotranspiration and water contents in the soil as well as precipitation, the hydrological processes are too simplified and the resolution is around 2° to 5° For assessing the variations of regional water resources and regional water contents in the top-soil, the more accurate and fine model is required.

The purpose of this study is to develop the such kind of the regional water balance model. The model could simulate various hydrological aspects with the resolution of 0.5° x 0.5°, such as surface runoff, water contents in the top-soil, storage of water in the area, water equivalent of snow-pack and snow-melt, evapotranspiration etc., over the Asian continent affected by Asian monsoon. The model is made on the basis of the concepts of Tank Model, which is composed of 4 submodels, namely, a discharge submodel, an evapotranspiration submodel, a submodel of snow-pack and snow-melt, and a precipitation submodel. The discharge sub-model is composed of many field models and river models. The field model are applied to each grid areas on simply classified fields, and each models on the simplified river system are used for modeling the river run-off. The evapotranspiration submodel, which calculates the evapotranspiration in a grid area, will contain the modeling of the effects on dryness in the top-soil and seasonal change of vegetation. The submodel of snow-pack and snow-melt calculates water equivalent of snow-pack and snow-melt on grid areas using daily precipitation and mean air temperature, which has some local factors related to humidity and wind. The precipitation submodel calculates the areal precipitation on grid areas combining conventional rain gage data and seasonal patterns of the cloud cover, which are derived from satellite data. Through the study of this fiscal year, the following results are obtained ;

(1)Through the preliminary analysis using acquired daily data on both precipitation and run-off in Huaihe river basin, China and Ohyodo river basin, Japan, it was found that annual precipitation has a linear correlation with annual water los sas well as annual run-off. While, annual water loss does not depend on annual precipitation in Ohyodo river basin. It was relatively stable, though annual precipitation has also linear correlation with annual run-off.

(2)Essential correlation among coefficients of the regression equations, which could estimate monthly mean air-temperature from NOAA AVHRR data on monthly regional satellite image data-set mosaicked from GAC data, and latitude of concerning locations was found. This discovery makes the way to apply the regression equation to global Asian continent.

(3)New regression equation, which could estimate evaporation directly from NOAA AVHRR data on GVI data-set, was developed. The regression equation was examined at Nhakon Sawan in central Thailand, where the dry season and rainy season come alternately every year, from Apr., 1985 to Mar., 1986. As a result, adequate estimations were obtained. The examination was done only one place and one year yet. It is necessary to continue the examination in various place for developing more adequate coefficients of the regression equation to apply to global area.

1．研究目的

高温、多雨、少雨などの異常気象が増加し、世界の気温が昇温傾向にある現在、気候変動やそれによってもたらされる水資源の変動等に対する関心が益々高まっている。この問題に対して幾つかの大気大循環モデルは気温の上昇、降水量や土壌水分の変化等の将来予測に有用とみられている。しかし、これらモデルに含まれる地表の水文過程のモデル化は未だ不十分である。また、全球を計算しているため、地表の分解能は2°×2°～5°×5°(低緯度地域において約4～25万km²)であり、地域の水資源、植生と結び付いたより高い計算密度であることが望まれる。そこで、本研究は広域にわたるアジアモンスーン地域を対象として、降水、積雪・融雪、蒸発散、河川流出等の水文過程を的確にモデル化し、「広域環境条件が広域の水収支に及ぼす影響」及び「モンスーンの変動特に、降水量変動が広域環境条件に与える影響」を0.5°×0.5°(約50km×50km)の計算密度で詳しく評価できる広域水収支モデルの開発を目的としている。

2．研究方法

本研究で開発する広域水収支モデルは広域の地表をメッシュ分割し、降水量、気温等から任意の地域の河川流量、水の流域貯留量（土壌水分量、地下水量など）、実蒸発散量等を計算するモデルであり、流域を単位とした既存の水収支モデル特に、タンクモデルを応用してモデルの開発を行う。この広域水収支モデルは図1に示すようにタンクモデルを基本とした流出量サブモデル、蒸発散量サブモデル、積雪・

融雪サブモデル、降水量サブモデルの４つのサブモデルから構成され、最も基本的な部分である流出量サブモデルからモデルの開発・検証実験を順次行う。この場合、数少ない地表観測データに加えて衛星データから得られる地表状態（植生指数、アルベド、温度など）も有用な情報となることから積極的に衛星データを有効利用してモデルの開発を行う。本年度は流出量サブモデルを中国の淮河流域及び日本の大淀川流域において、検証・改良する研究を行った。また、蒸発散量サブモデルの開発を引き続き行うため、衛星データを用いた月平均気温の推定の一般化及び計器蒸発量の推定手法の開発を行った。

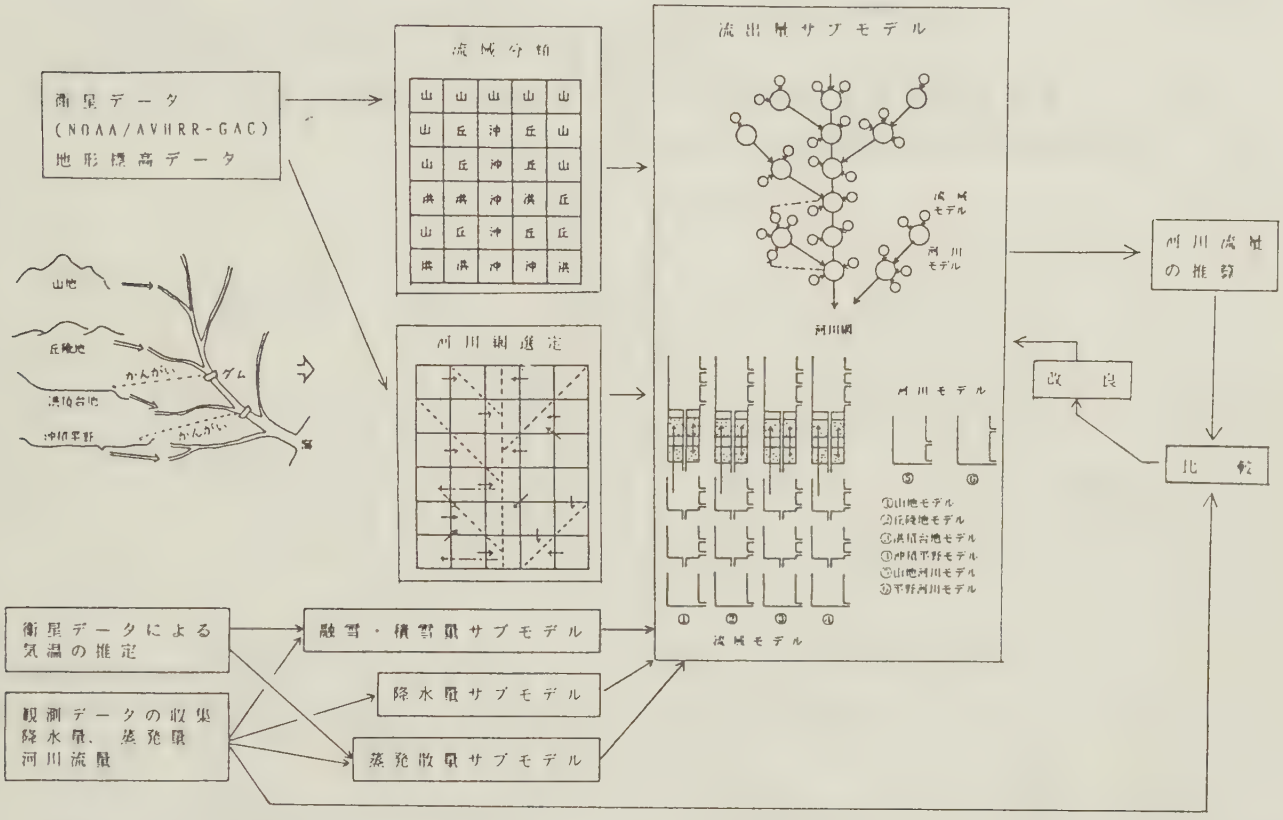


図１　広域水収支モデルの概略
Fig.1 Outline of the regional water balance model

３．研究成果

(1)代表流域における流出量サブモデルの検証及び改良

本研究で開発した流出量サブモデルをアジアモンスーン地域全体へ適用させるためには熱帯から寒帯、湿潤地域から乾燥地域において同モデルの検証・改良を行う必要がある。そこで、本年度から日本の大淀川流域（流域面積2,126km^2）に加えて、中国の淮河中上流域（流域面積121,330km^2）においてもモデルの検証と改良に着手した。図２、図３に両流域の概略とこれまでに収集したデータの観測位置を示す。淮河については1983年から1991年における河川沿いの９地点の日降水量及び日流量を収集・整理し、大淀川については1988年から1991年の日降水量２４地点、日流量８地点を収集・整理した。他の必要なデータについてはデータ解析及びモデルの検

証の過程でデータの代表性を考慮しながら収集する予定である。以下に、これまでに得られた解析結果を示す。

①淮河では図４に示すように年降水量と年流出高、及び年降水量と年降水量損失高はそれぞれ一次の相関関係がある。ここでは、年降水量は各流量観測地点より上流にある雨量観測地点のデータを単純平均して求めている。また、年降水量損失高は（年降水量－年流出高）として求めた。この年降水量損失高は流域平均の年実蒸発散量に相当する量である。各量の概略は年降水量600～1,400mm/年、年流出高100～700mm/年、年降水量損失高500～900mm/年である。

②大淀川流域では図５に示すように、淮河と同様に年降水量は年流出高と一次の相関関係にあるが、年降水量損失高は年降水量との相関関係は弱く、各流域毎にほぼ安定した値を示す。ここにおいて、年降水量及び年降水量損失高は淮河と同様な手法で求めた。各量の概略は年降水量2,000～3,000mm/年、年流出高1,500～2,400mm/年、年降水量損失高330～870mm/年である。

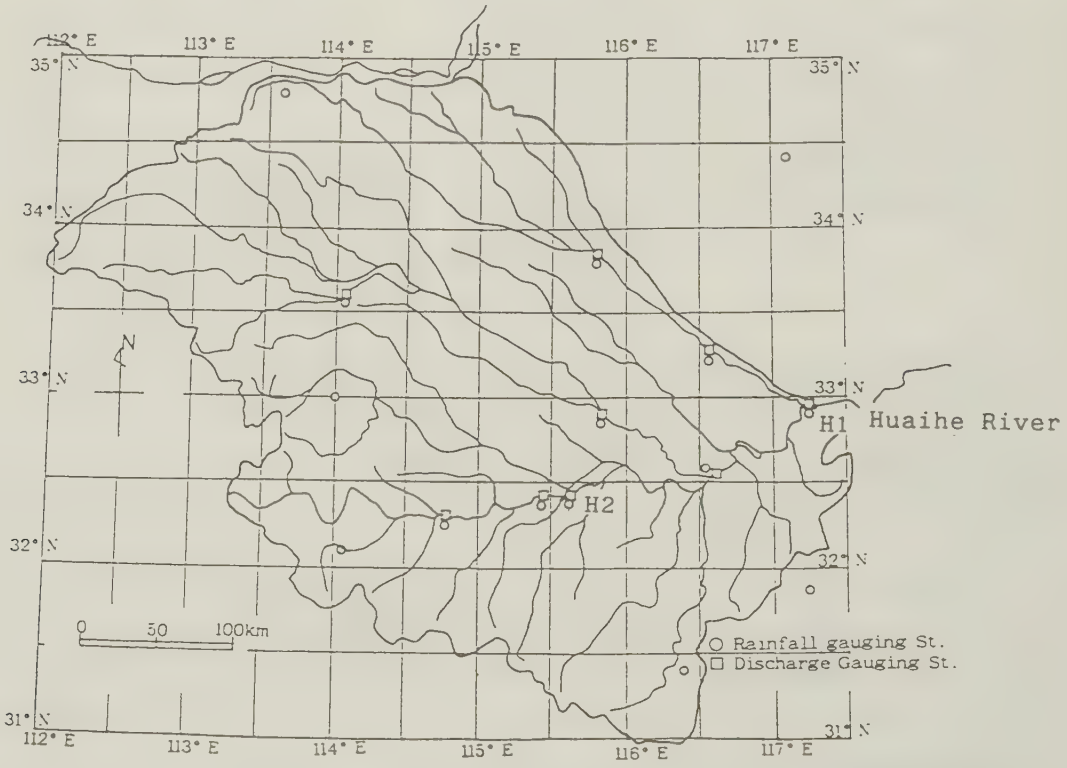


図２　淮河流域（解析対象流域面積:121,330km²）概略図

Fig.2 Huaihe river basin, where analyzing catchment area is 121,330 km²

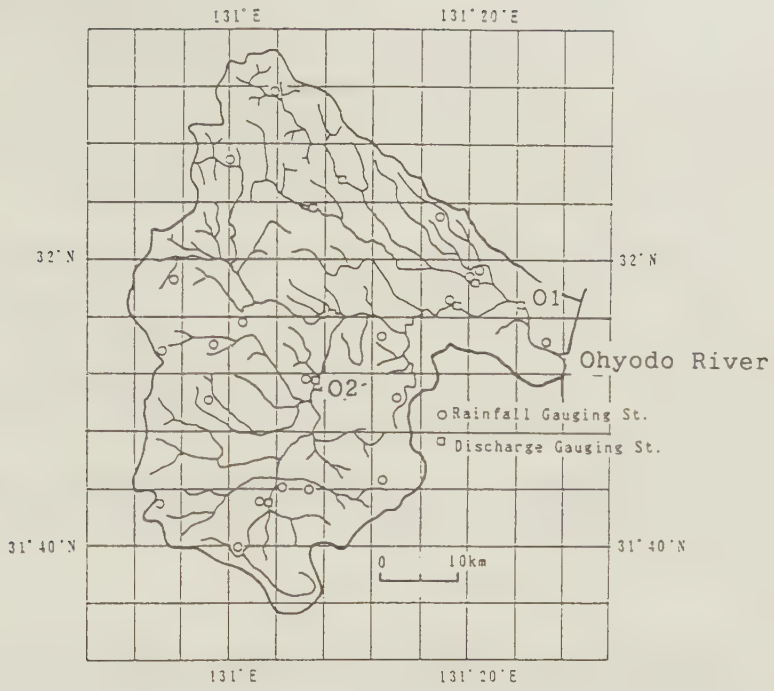


図３　大淀川流域（解析対象流域面積：2,126km²）概略図

Fig.3 Ohyodo river basin, where analyzing catchment area is 2,126 km²

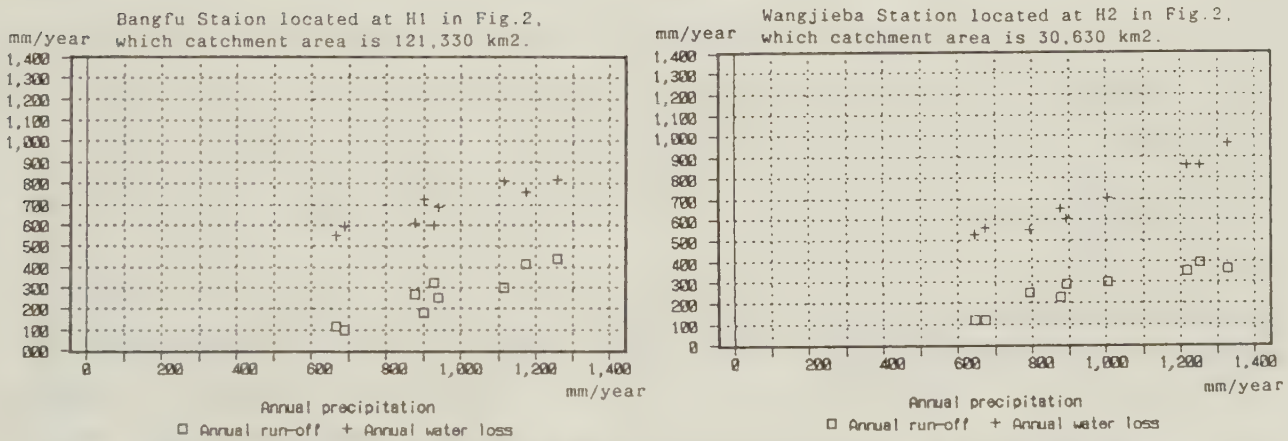


図４　淮河流域における年降水量と年流出高及び年降水量損失高の関係、ただし、1983年から1991年のデータに基づく

Fig.4 Relations between precipitation and both river run-off and water loss based on annual data from 1983 to 1991 in Huaihe river basin

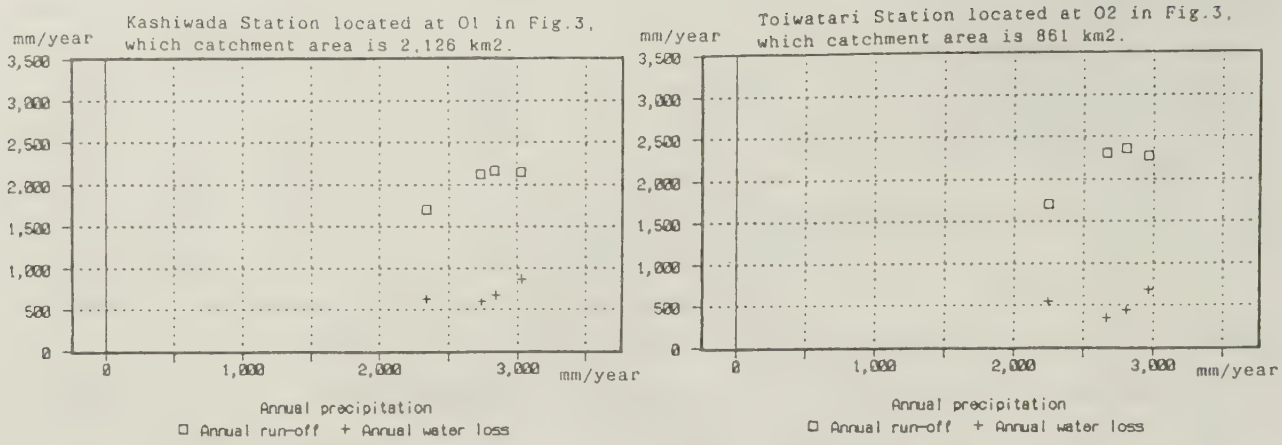


図５　大淀川における年降水量と年流出高及び年降水量損失高の関係、ただし、1988年から1991年のデータに基づく

Fig.5 Relations between precipitation and both river run-off and water loss based on annual data from 1988 to 1991 in Ohyodo river basin

(2)衛星データを用いた月平均気温の推定手法の一般化

計器蒸発量の観測データは広域的には少なく、衛星データを用いて推定することが望ましい。この計器蒸発量は平均気温と密接な関係があり、本研究ではＮＯＡＡＡＶＨＲＲのＧＡＣデータから合成した広域衛星画像データを用いて月平均気温の推定手法の開発を行った。これまでに①式に示す回帰式を用いて月平均気温が推定できることを示した。

$$Tave = k_1 \times SR + k_2 \times Tch4 + k_3 \times (Tch4 - Tch5) + k_0 \quad ----①$$

$$SR = \cos(\theta - \delta)$$

$$\delta = 0.4093 \times \sin(0.01698 \times (JDAY - 80))$$

ここに、ＳＲは地表への太陽放射量の季節変化係数、Ｔch4,Ｔch5はNOAA AVHRRのチャンネル４（10.5～11.5μｍ）及びチャンネル５（11.5～12.5μｍ）のデータから求められる輝度温度値（単位：℃）、θは当該地点の緯度、δは赤緯、JDAYは1月1日を１とした当該日までの日数、k_1、k_2、k_3、k_0は回帰式の係数。

ただし、この回帰式の係数は地域毎に異なる。この推定手法を用いて、当研究所で合成している広域衛星画像データからアジア大陸全体の月平均気温を推定するにはこの回帰係数の一般化が必要となる。そこで、本年度はアジア大陸の４７地点において回帰係数を求め、それらとそれぞれの地点の緯度、標高、年降水量、年平均気温及び年平均湿度との間の相関関係を調査した。その結果、各地点の回帰係数と緯度との間に一定の関係が有ることが分かった。図６にその一例を示す。この関係は各地点の標高、年降水量または年平均湿度を説明変数に加えることにより、更によい相関関係になる。

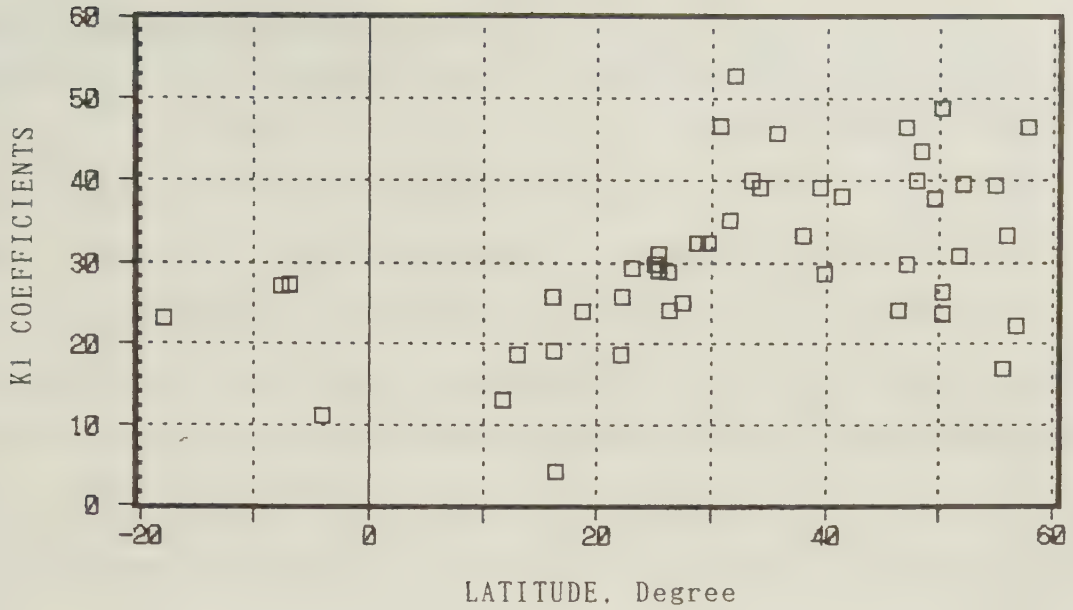


図６　月平均気温を推定するための回帰式の係数と対象地点の緯度との関係
Fig.6 Coefficients on the regression equation depending on the latitude of the location for estimating the monthly mean air-temperature

(3)衛星データを用いた計器蒸発量の推定手法の開発

(2)項で述べた手法は衛星データから月平均気温を推定し、更に、この月平均気温から可能蒸発散量を推定しようとするものであるが、ここでは衛星データから直接、回帰式を用いて計器蒸発量を推定する手法も検討した。これら可能蒸発量または計器蒸発量は流出量サブモデルの入力データとして使用するものである。本手法はＮＯＡＡのＮＥＳＤＩＳ（国家環境衛星データ情報サービス）が作成しているＧＶＩ（全球植生指数）データを用いて、熱収支式を基礎としたVidalら(1990)の方法を更に改良する方法で行った。ＧＶＩデータは毎日収集されているＮＯＡＡＡＶＨＲＲのＧＡＣデータを７日分集積し、その中からＮＤＶＩ（植生指数）の最も高い画素のデータを抽出し、再配列して作成された週単位のデータセットである。そのため、雲の影響のある大部分のデータは取り除かれている。その反面、地表分解能が低くなっている。本研究ではタイの中央平原のナコンサワンにおいて、緯度・経度方向0.43°×0.43°の領域のＧＶＩデータを抽出し、それと１地点の計器蒸発量との回帰分析を行った。この地域は雨期と乾期がある熱帯域に位置する。解析の結果、②式に示す回帰式を得た。

$$Ev = c_1 \times (T_{ch4})^4 + c_2 \times T_{ch4} + c_3 \times (T_{ch4} - T_{ch5})^4 + c_4 \times F(SR)/NDVI + c_5 \qquad \text{-------②}$$

$$NDVI = (\alpha_2 - \alpha_1) / (\alpha_1 + \alpha_2)$$

$$F(SR) = \ln((SR - c_6)/(1 - SR))$$

$SR=(R_0/R)^2\times COS(\theta-\delta)$

$R_0/R=1.001+0.01673\times COS((JDAY-2)\times\pi/180)$

$\delta=0.4093\times SIN(0.01698\times(JDAY-80))$

ここに、NDVIは植生指数、ＳＲは地表への太陽放射量の季節変化係数、R_0/Rは太陽と地球の距離の季節変化係数、δは赤緯、c_1～c_6は回帰定数、α_1, α_2, はNOAA AVHRRのチャンネル１（0.58～0.68μm）及びチャンネル２（0.725～1.10μm）のデータから求められるアルベド値、Tch4, Tch5はNOAA AVHRRのチャンネル４（10.5～11.5μm）及びチャンネル５（11.5～12.5μm）のデータから求められる輝度温度値（単位：ケルビン）、θは当該地点の緯度、JDAYは1月1日を１とした当該日までの日数。

この回帰式を用いて週平均の日蒸発量を推定した結果を図７に示す。同図には計器蒸発量の観測値も示しており、良好な推定結果が得られていることが分かる。

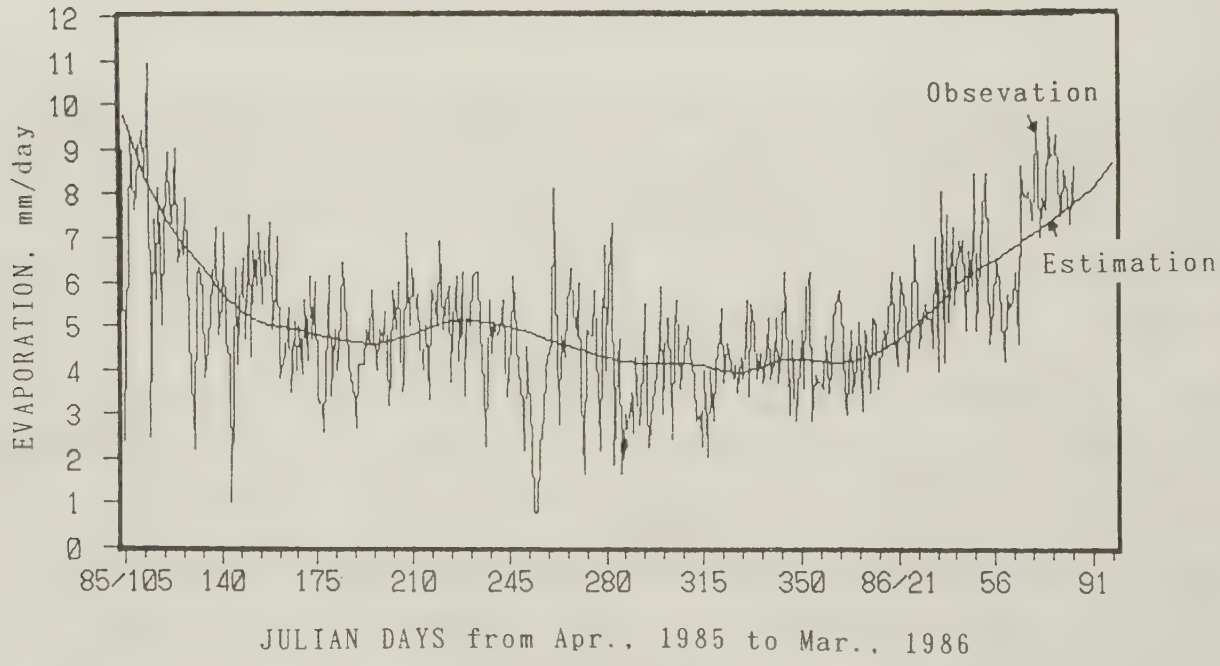


図７　タイのナコンサワンにおけるNOAA AVHRRのGVIデータを用いた回帰式による計器蒸発量の推定結果、使用した回帰式は以下の通り。

Fig.7　Results of estimated evaporation at Nhakon Sawan in Thailand by the regression equation using NOAA AVHRR data on GVI data-set. The regression equation is shown as follows:

$$Ev=6.569\times10^{-7}\times(Tch4)^4-0.5695\times Tch4+0.800\times10^{-3}\times(Tch4-Tch5)^4+0.126\times F(SR)/NDVI)+122.51 \quad -----②$$

4．考　察

ここでは３.節の各項に沿って以下の通り考察する。

(1)代表流域における流出量サブモデルの検証及び改良

日中の共同研究に対する実施取り決めが締結され、広域水収支モデルを中国の河川流域で検証・改良できる環境が整い、今年度、淮河の日流量及び日降水量データが中国側から提供された。現在、日本の大淀川流域と中国の淮河流域で水文データ、流域情報データ等の広域水収支モデルへの入力データの作成を行っている。これまでに得られたデータの定性的な解析から以下のことが分かった。

①収集した雨量データの代表性の問題はあるが両流域の大部分で妥当な年降水量と年流出高及び年降水量損失高の関係が得られた。

②淮河では流域の北部で年流出高が10～20mm/年になる所があり、また、大淀川上流域でも年降水量と年流出高及び年降水量損失高の関係が通常と異なっている地域があることから、これら地域ではダム、潅漑施設等による人為的な河川流量調節や収集した雨量地点の流域代表性の問題があると思われる。このため、今後のモデル解析は人為的な流量調節の実態調査及び山地の雨量データの収集を行いながら進める必要がある。

(2)衛星データを用いた月平均気温の推定手法の一般化

当研究所がＮＯＡＡ　ＡＶＨＲＲのＧＡＣデータから合成している広域衛星画像データを用いて月平均気温推定のための回帰式の一般化を試みた。雲の影響の少ない衛星データを同一場所で長期間得るのは大変困難なことではあるが、アジア大陸の約１００地点で回帰分析を行い、その内、妥当な回帰式が４７地点で導出された。こうした困難な解析ではあったが、これらの回帰式の各係数とそれぞれの地点の緯度との間に一定の相関関係を得ることができた。これによりアジア全体の月平均気温を防災科学技術研究所が作成している広域衛星画像データセットを用いて推定できる見通しができた。ただし、これらは広大なアジア大陸の４７地点での解析結果であり、今後ともデータの蓄積を行い、回帰係数導出手法の一般化の研究を継続する必要がある。

(3)衛星データを用いた計器蒸発量の推定手法の開発

本研究ではＧＶＩデータを用いて、緯度・経度方向0.43°×0.43°の領域の計器蒸発量を推定するための回帰式を作成し、良好な推定結果を得た。ただし、今回の検討は１地点の１年間分の解析結果のみに基づくものであり、この手法を様々な地域に応用して行くためにはより多くの地点で長期間の解析を行い、それぞれの地域に適した回帰式を合理的に求める手法を開発する必要がある。

5．引用文献

A. Vidal et al.: Irrigation Monitoring by Following the Water Balance From NOAA-AVHRR Thermal Infrared Data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Vol.28 No.5, Pp.949/954, 1990.

6．成果の発表

(1)中根和郎：ＮＯＡＡ ＡＶＨＲＲのＧＶＩデータを用いた蒸発量の推定、第19回リモートセンシングシンポジュウム講演論文集、計測自動制御学会、1993.

(2)中根・幾志：ＮＯＡＡ ＡＶＨＲＲのＧＡＣデータを用いたアジア各地の月平均気温の推定手法の一般化、第２０回リモートセンシングシンポジュウム、計測自動制御学会、1994（予定）.

(3)K. Nakane et al. : Application of the regional hydrological model to Huaihe river basin in China and Ohyodo river baisn in Japan, The 1st P.R.C.-Japan Workshop on Asian Monsoon, 1994（予定）.

(4)K. Nakane : Estimation of Evaporation using NOAA AVHRR on GVI data, The second GAME international symposium in Thailand, 1994（予定）.

7．関係国との協力

中国水利部遥感技術応用中心の研究者１名を当研究所に招聘し、日本側の代表流域である大淀川流域において日中共同で流域調査を行うと共に、日本の大淀川流域及び中国の淮河流域において、流量サブモデルを適用するのに必要な流域条件のデータ化を行った。

2．数値モデルによる実験的研究
Theoretical/Experimental Study by Numerical Simulations
（２）季節内変動とアジアモンスーンの関連に関する実験的研究
Numerical Study concerning Relationships between the Intraseasonal Oscillations in the Tropics and the Asian Monsoon Phenomena

気象庁気象研究所
二階堂義信
Meteorological Research Institute,
Japan Meteorological Agency
Y. Nikaidou

(Abstract) The purpose of this study is to understand the mechanism of the Asian summer monsoon and its relationship with the intraseasonal oscillations in the tropics by numerical simulations of global models. We have two research subjects in the first half period of this project. The one is reproduction of the Asian summer monsoon and the 30-60 days oscillations in the tropics by high resolution global models. The other is numerical studies about basic mechanisms of the general circulation in the subtropics including the monsoon circulation and the subtropical highs by using a simplified low resolution model.

As for the latter subjects, we have already come to the following conclusions about the formation and maintaining mechanism of subtropical highs in the northern summer hemisphere. 1) a strong subtropical high with antisymmetric shape in the east-west direction is formed by contrast of surface temperature between the continent and the ocean in the high and middle latitudes. 2) a large-scale mountainous region in the subtropics like Tibetan Plateau locally intensifies the air pressure at the west end of the subtropical high on account of the local subsidence in the east of the mountains enhanced by the strong diabatic heating over the mountains. We have drawn the conclusions from the analysis of time-mean meteorological conditions simulated by the simplified low resolution model. The simulated meteorological condition may be considerably affected by the physical processes of the model, so we performed numerical experiments with the same boundary conditions and some different physical processes in order to check the availability of the conclusions. The boundary conditions of the experiments were the land-sea distribution of wave number 2 in the east-west direction except for the polar ice sheets and the tropical ocean belt between 15N and 15S, the flat land surface, the zonally averaged climatological sea surface temperature in July and the solar radiation on July 1 with the diurnal variation. We performed 4 kinds of 6-month integrations. The one is the control run, the second the run in which the cumulus parameterization was replaced with the moist convective adjustment from Kuo scheme, the third the run with the zonally averaged diffusion coefficients of heat, water vapor and momentum in the planetary boundary layer, the forth the run with the zonally averaged diffusion coefficients and drag coefficients of heat, water vapor and momentum. We found the typical subtropical high in all the experiments except for the fourth run, in which the subtropical high was almost disappeared in the summer hemisphere. The difference between the fourth run and the others could be also seen the mean air temperature at 850hPa. In the latter runs, there were the large temperature gradient in the east-west direction near the land-sea boundary. On the contrary, the large temperature gradient in the former run was mainly found in the north-south direction over the sea.

In order to examine the effect of planetary wave on the subtropical high, we analyzed the

time variation of geopotential height and the eddy heat flux at 850hPa calculated in WV2EQO run (land-sea distribution of wave number 2 in the east-west direction except for the polar ice sheets and the tropical ocean belt between 15N and 15S and flat land surface) and AQUA run (aqua planet with the zonally averaged SST except for the polar ice sheets). In AQUA run, in which the subtropical high was very weak, the height variation and eddy heat flux were large over the baroclinic zone located at the higher latitude side of the subtropical high. In WV2EQO run, in which the typical antisymmetric subtropical highs could be seen over the oceans, the height variation and eddy heat flux were negligible over the subtropical highs.

From these experiments, we came to a conclusion that the subtropical high in the summer hemisphere is driven by the longitudinal temperature gradient at the boundaries between the continent and the ocean in the high and middle latitudes and the potential energy generated the temperature gradient is directly converted into the mean flow around the subtropical high in contrast with the baroclinic wave which indirectly converts the potential energy generated by the latitudinal temperature gradient into the mean westerly flow.

As for the numerical study by using the high resolution model, we had tried to change the cumulus parameterization of the model to improve the tropical circulation simulated by the model since 1992. In this year, we planned to change the cumulus parameterization to the prognostic Arakawa-Schubert scheme, but there was a serious technical problem for the introduction of the new scheme into the model. The depth of the planetary boundary layer (PBL) is an important physical quantity to regulate the cumulus convection in the Arakawa-Schubert scheme, but it isn't calculated by the PBL model (Mellor-Yamada closure model) used in our model. In order to solve this problem, we developed a new scheme to diagnose the PBL depth from the vertical sensible heat flux.

１．研究目的

夏のアジアモンスーンは年々の変化が大きいばかりでなく、インドモンスーンのオンセット・ブレイクに見られるように、季節の中にも大きな変動が見られる。この変動に対して熱帯の３０～６０日周期変動との関連が観測から示唆されているが、両者を結び付けるメカニズムに関しては未だ明らかではない。アジアモンスーンが南アジアの社会に及ぼす影響が大きいにもかかわらず未解明な部分が多いのは、現象の発生する地域の大半がインド洋や西部熱帯大平洋上にあり、観測データの取得がはなはだ困難なためである。
本研究では、全球の数値予報モデルを用いてアジアモンスーンの数値シミュレーションを行ない、夏のアジアモンスーンと熱帯の季節内変動の相互関係を、数値実験的手法によって解明していくことを目的とする。

２．研究方法

低分解能（最大波数21、水平分解能約550km、鉛直12層）で海陸分布を単純化させた全球モデルによる実験では、これまで特定の物理過程を用いたモデルによる時間平均場の解析により結論を導いてきたので、結論の有効性を検証するために、モデルの物理過程を変更した実験を行い比較すると共に、波動が亜熱帯高気圧の時間平均場に与える影響も解析して、これまでに得られた理論の再検証を行った。
高分解能モデルを用いた（最大波数63、水平分解能約180km、鉛直21層）夏のアジアモンスーンと季節内変動の再現実験では、一昨年の研究でモデルの熱帯域の発散場や降水分布の再現性に問題があり、その主な原因として積雲対流パラメタリゼーションが考えられるという結論を得ており、昨年度は積雲対流パラメタリゼーションを従来のKuo方式からManabe et al.の対流調節方式に変更して比較実験を行った。今年度は、積雲対流パラメタリゼーションを雲物理過程を意識したより高度なprogrnostic Arakawa-Schubert方式に変更して比較実験する

較した。図3はそれぞれWV2EQOラン（上段）とAQUAラン（下段）の積分151～180日目の30日間で平均した850hPaの高度（図左列）及び等圧面高度の標準偏差（図右列）を表したものである。AQUAランでは高度変動の大きな領域は傾圧帯に対応しており、微弱な亜熱帯高気圧帯では変動は小さい。WV2EQOランでは高度変動は気温の日変化に伴うものと思われる大陸上にあり、亜熱帯高気圧上は極めて小さい。更に注目すべきこととして、WV2EQOランではより高緯度の傾圧帯においてもさえ高度変動が極めて微弱なことである。現実の大気でどういう状態かといえば、図4は気象庁数値予報課作成の1984～1992年の全球解析データ（GANAL）から求めた7月の月平均850hPa高度（左図）と高度の標準偏差（右図）である。モデルと同じく亜熱帯高気圧上での高度変動は小さいが、亜熱帯高気圧北側のアリューシャン列島付近やアイスランド付近には傾圧帯があり高度変動の極大域が見られる。図5はWV2EQOラン（左図）とAQUAラン（右図）の積分151～180日目の30日間における850hPaのE-vector ($\langle v'^2-u'^2 \rangle$, $\langle -u'v' \rangle$) とEddy Heat Flux $\langle v'T' \rangle$（u, v, T はそれぞれ風の東西成分、南北成分、気温を表し、記号 ' は平均場からの偏差、< > は時間平均を表す）で、各々波動による平均流への3次元的な効果を表す。両者のラン共にEddy Heat Fluxは亜熱帯高気圧上で小さいが、AQUAランでは傾圧帯で極大が見られるのに対し、WV2EQOランでは海洋上の傾圧帯でも値は小さい。

(2) 全球高分解能モデルによる夏のアジアモンスーン・季節内変動の再現実験

前年度の実験で全球高分解能モデルT63L21の積雲対流パラメタリゼーションを従来のKuo (1974) による方式からManabe et al. (1965) の湿潤対流調節方式に変更し、6ヶ月積分を行い熱帯循環や夏のアジアモンスーンの再現性能の比較を行った。湿潤対流調節方式にも良い面はあるものの現実の現象と比較して満足すべきものではなかったので、本年度は雲物理をある程度意識したArakawa-Schubert (1974) による方法の導入を検討した。Arakawa-Schubertの方法は積雲群のアンサンブルをより厳密な仮定でパラメタライズしているものの、計算が複雑かつ演算量が多いためセミインプリシット法を用いたスペクトルモデルのように毎ステップ物理過程の計算が必要なモデルには不適とされていた。また、この方法は Randall (1976) の大気境界層の厚さを予報する1層の大気境界層モデルと深く結合しており、Mellor-Yamadaの多層化した大気境界層モデルと相入れない面があった。しかし、最近になってArakawa-Schubertのquasi-equilibriumの過程を緩めて、従来無視していた積雲群アンサンブルの運動エネルギーを予報するprognostic Arakawa-Schubert法が開発され演算量が軽減できるようになりスペクトルモデルへの導入が可能になった。とはいえ、Arakawa-Schubertの方法による場合、積雲対流活動の強さは大気境界層内で平均したmoist static energyによるので、大気境界層の厚さを決定することは不可避である。

図6は全球スペクトルモデルT63L21で数値積分で予報されたサハラ砂漠（北緯30度、東経0度）の地点での7月1日の00Zと12Zの仮温位（左図）と比湿（右図）の鉛直断面図であるが、乾燥地帯で比較的大気境界層の日変化が明瞭な地点にもかかわらず、モデルの鉛直層の少なさから容易に境界層上端を判定することは困難である。そこで、全球モデルのように少ない鉛直層でもあらゆる所で境界層の厚さを決定できる診断基準を設けた。つまり、大気境界層物理過程の計算においてモデル各層間の顕熱フラックスを計算しているので、最下層とその直上の層の間の顕熱フラックスの値の10%になる高度を大気境界層と定義し、その高度は下から7層目（地上気圧が1000hPaの場合、約756hPa）を越えないという制約を設けておく。図7はその診断基準により求められた全球スペクトルモデルT63L21で数値積分での7月1日00Zの大気境界層の厚さの分布である。熱帯海洋上では概ね50hPa程度、陸上で50～150hPa、乾燥地帯や高緯度の暖流上で200hPaになっている。北極海や南極大陸で厚さが150～200hPaと異常に厚いが、これらの地域では顕熱フラックスが極めて小さいために判定が困難な地域となっている。しかし、これら極域での積雲対流が発生する可能性はほぼ無

予定であったが、この方式では大気境界層の厚さが積雲対流活動の強度を規定する重要な物理量であるにもかかわらず、モデルで採用している大気境界層モデルでは陽に大気境界層の厚さを計算しないので、何らかの形で厚さを診断する方法を開発する必要が生じたため、モデル全球の様々な地点の下層大気の鉛直構造とその時間変化を調べて、尤もらしい大気境界層の厚さを診断する方法を開発した。

3．研究成果

(1) 海陸分布を単純化した低分解能モデルによる実験

過去の研究によって、北半球の夏に見られる東西非対称な形状をした強い亜熱帯高気圧の循環は、中・高緯度における海洋－大陸間の温度差（いわば熱的なコントラスト）によって形成・維持されているものであること、亜熱帯地域にある大規模山岳はその上空で放出する大量の熱及び地形の力学的な効果により亜熱帯高気圧の西端部に小笠原高気圧や北米の熱波高気圧のようなバロトロピックな構造をした局地的な強い高気圧を形成させる役割を果たしていることなどが明らかになった。しかし、これまで実験に用いた低分解能全球モデルT21L12の物理過程は同一でありモデルの結果が採用する物理過程に大きく依存すること、解析も時間平均場のみについて行ってきたことなどを考慮し、本年はこれまでに得られた結論について物理過程の変更や時間変動場の平均場に対する寄与の点から再検討を行った。

図１は北緯70度以北、南緯60度以南の極氷と南北15度以内の熱帯海洋を除き、東西波数２の海陸分布で、東西平均した７月の気候値の海面水温と７月１日の状態で固定して日変化を与えた境界条件で180日間積分し151～180日目の期間の850hPa高度の平均を表した図である。図左上は従来の物理過程のモデル（WV2EQOラン）で北緯30度を中心に海洋上に東西非対称の亜熱帯気候気圧が認められる。図左下は積雲対流パラメタリゼーションを従来のKuo (1974) 方式からManabe et al. (1965) の湿潤対流調節方式に変更したもので、ITCZの強化により亜熱帯高気圧の南北幅は狭まっているものの、高気圧性循環は強く東西非対称の形状も認められる。図右下は大気境界層モデルで熱・水蒸気・運動量の鉛直拡散係数κを緯度毎に東西平均して与えたものである。図左上の通常の状態では大陸上の大気は不安定で拡散係数が大きいのに対し、海洋上では安定成層で拡散係数が小さい。この拡散係数を一様化してもなお亜熱帯高気圧の形状に大きな変化は見られない。図右上は大気境界層モデルの熱・水蒸気・運動量の鉛直拡散係数に加えて、大気－地表面間の抵抗係数Cd,Chも緯度毎に東西平均して与えたものである。この場合、亜熱帯高気圧は北緯30度付近の傾圧帯と熱帯収束帯の境界に微かに認められるのみとなっている。抵抗係数の一様化による劇的な効果の原因を30日平均の顕熱フラックスで調べてみたところ、標準実験（WV2EQOラン）で特徴的な大陸上全面の正のフラックス、海洋上の特に亜熱帯高気圧の北西象限（大陸東岸部）での大きな負のフラックスの特徴は、拡散係数を東西一様にしたモデルでもあまり大きな変化が認められなかった。しかし、拡散係数と抵抗係数を東西一様にしたモデルでは大きな負の顕熱フラックスは大陸の東岸近傍に限定されていた。

図２は850hPaでの30日平均気温と風ベクトルを比較したもので、図中央は標準実験、図右は拡散係数を東西一様にしたモデルであるが、いずれも中・高緯度において大陸東岸から暖気が西風によって海洋上に吹き流されていて、中・高緯度の海洋上では東西の気温傾度が卓越して、それに直角に風が吹いている様子がわかる。一方、図左側の拡散係数・抵抗係数を東西一様にしたモデルでは海洋上では南北の気温傾度が卓越しており、それに沿って西風が吹いている。この気温傾度の方向と、それに対する風の流れが亜熱帯高気圧の形成・維持に重要な意味を持つものと考えられる。

次に、亜熱帯高気圧の時間平均場と波動の関係を調べるために、顕著な亜熱帯高気圧が発生する東西波数２の海陸分布をした前述の標準実験（WV2EQOラン）と、亜熱帯高気圧が殆ど見られない極氷を除いて全面が東西一様な海面水温をした水惑星（AQUAラン）を比

いと言ってよく、prognostic Arakawa-Schubert法導入の際の実質上の問題点とはなり得ないと思われる。

4．考　察

(1) 海陸分布を単純化した低分解能モデルによる実験

今回の物理過程を変更した幾つかの実験から、北半球の夏に特徴的な亜熱帯高気圧は熱帯の対流活動にある程度強度が影響されると言うものの、基本的には中・高緯度の海洋－大陸間の熱的な性質の差による東西方向の気温傾度と西風によって駆動されているものであることがわかった。また、時間変動場の解析により亜熱帯高気圧の循環は傾圧不安定波と異なり平均流のみで温度傾度によって生成されたポテンシャルエネルギーを運動エネルギーに変換していることがわかった。図８は傾圧不安定波（左図）と亜熱帯高気圧循環（右図）のメカニズムの違いを模式的に表したものである。前者の場合は南北の温度傾度を波動によって解消しようとし、その際β効果が波動の復元力となっている。後者では温度傾度は東西方向であり、温度傾度に直角に流れる風によって急激に伸縮しようとする渦管の鉛直運動を一旦コリオリパラメータｆの変化で吸収して徐々に運動エネルギーに変換している。この際波動の関与は一切必要としないのであろう。

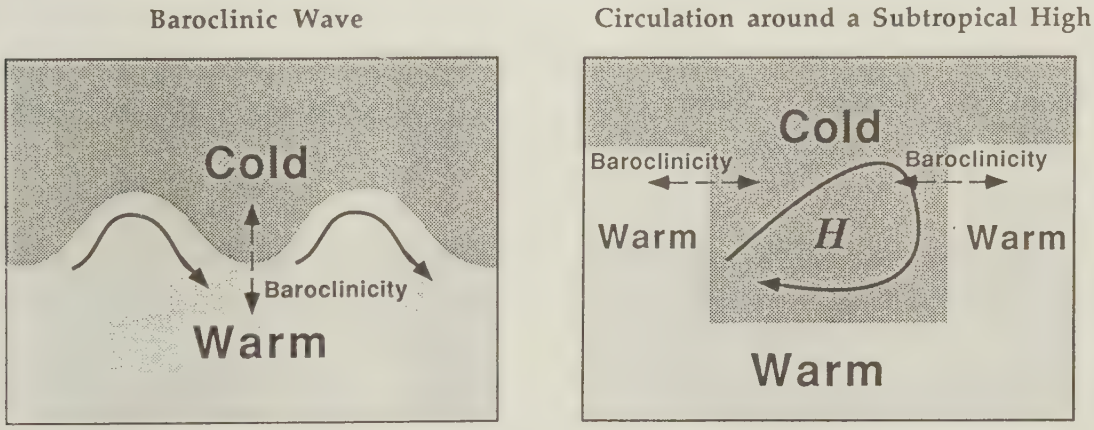


図８．傾圧不安定波（左図）と亜熱帯高気圧循環（右図）のメカニズムの違いを表した模式図。
Figure 8. Schematic diagrams showing the difference of dynamical mechanism between the baroclinic unstable wave (Left) and the circulation around the subtropical high (Right).

(2) 全球高分解能モデルによる夏のアジアモンスーン・季節内変動の再現実験

今回の大気境界層の厚さの診断法開発で、極域ではやや問題はあるものの現実と比較して妥当な値を求めることが可能になった。次年度から本研究テーマはもう一つのモデルによる研究テーマの「大規模モデルによる大気・海洋・陸面間の相互作用に関する実験的研究」に統合されるが、今後の研究にも従来より使用してきたモデルに基づいたものを使用する予定であるので、これまでモデルをより高分解能化し、積雲対流パラメタリゼーションとしてprognostic Arakawa-Schubertスキームを導入する予定である。

5．引用文献

Kuo, J. L., 1974: Futher studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 1232-1240.

Manabe, S., J. Smagorinsky and R. F. Strickler, 1965: Simulated climatology of a general circulation model with a hydrologic cycle. *Mon. Wea. Rev.*, **93**, 769-798.

Randall, D., 1976: The interaction of the planetary boundary layer with large-scale circulations. PH.D. dissertation, The University of California, Los Angels, 247 pp.

6．成果の発表

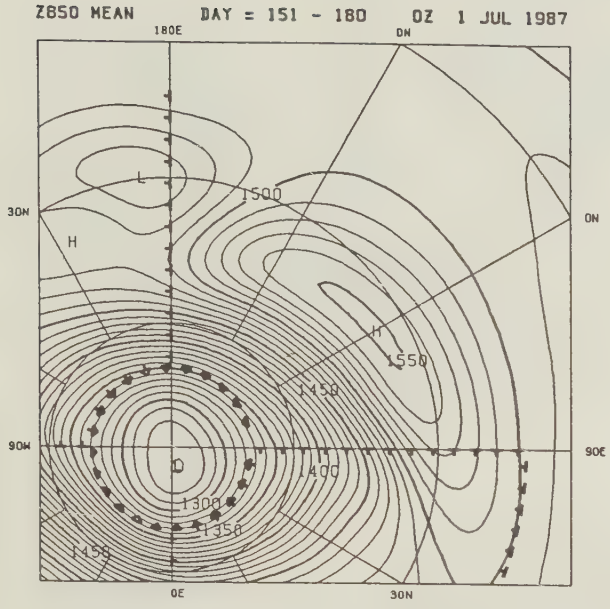
(1) 口頭発表

発表者名	発表題名	発表誌名等	備考
二階堂義信	夏半球の亜熱帯高気圧研究（その５） －再考、夏半球の亜熱帯高気圧研究－	日本気象学会 1993年秋季大会	

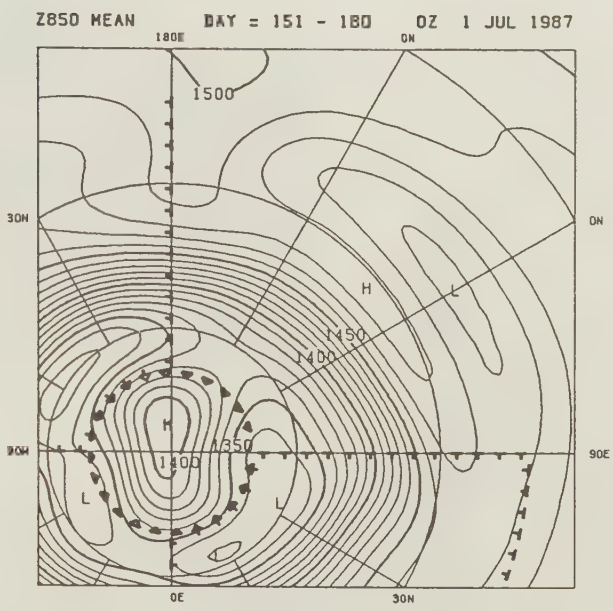
7．関係国との協力

平成６年３月３～４日に日本国東京都で開催された「アジアモンスーン機構に関する研究」第２回合同作業部会に出席し、中国国家気象局気象科学院の陳隆勲教授と双方のアジアモンスーンに関する数値モデル研究についての現状紹介と今後の研究協力について会談し、今後研究面で観測データ、数値実験結果の交換、中国側研究者２名の具体的な招聘計画について協定を結び、中国側が日本側の研究者の派遣を希望している旨の共通認識を得た。

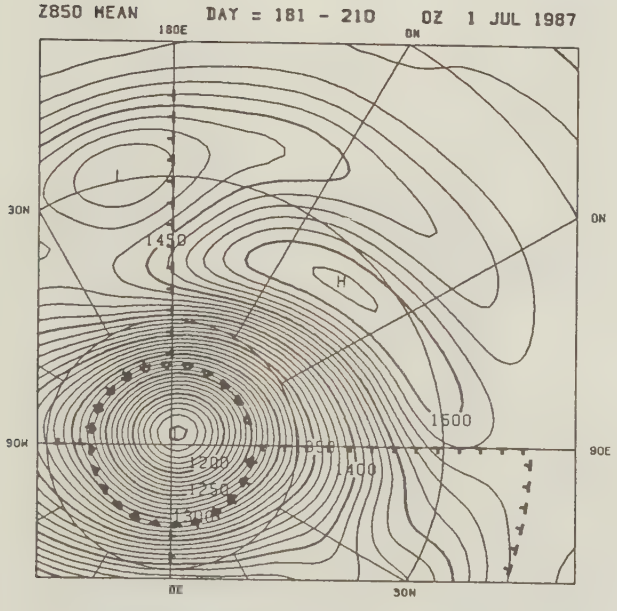
30-day Mean 850hPa Height (Day 151-180)



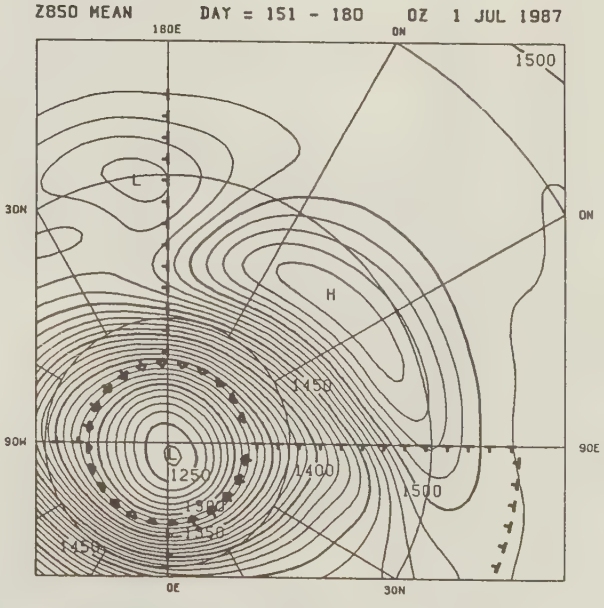
Original Model (WV2EQO RUN)



Zonally Averaged Diffusion and Drag Coefficients in PBL



Cumulus : Moist Adjustment



Zonally Averaged Diffusion Coefficients in PBL

図１．極氷と南北15度以内の熱帯海洋を除き東西波数２の海陸分布の低分解能モデルT21L12の積分151日目から180日目までの30日平均850hPa高度分布。等値線の間隔は10m、「▟」印及び「▲」印で囲まれた領域はそれぞれ陸地と極氷を表す。（左上図）標準の物理過程を用いた実験（WV2EQOラン）、（左下図）積雲対流パラメタリゼーションを湿潤対流緒節方式に変更した実験、（右下図）境界層内の鉛直拡散係数を緯度毎に東西平均した実験、（右上図）境界層の鉛直拡散係数、抵抗係数を緯度毎に東西平均した実験。

Figure 1. 30-day mean 850hPa height of the low resolution global model with land-sea distribution of zonal wave number 2 except for the polar ice sheets and the tropical ocean (15N-15S). The averaged period is from the 151-st day to the 180-th day of the integration. Regions enclosed with symbols "▟" and "▲" indicate the land and the polar ice, respectively. (Left-upper) the control run (WV2EQO run), (Left-lower) the run with the moist convective adjustment, (Right-lower) the run with zonal mean vertical diffusion coefficients in PBL, (Right-upper) the run with zonal mean vertical diffusion and drag coefficients in PBL.

30-day Mean Temperature and Wind at 850hPa

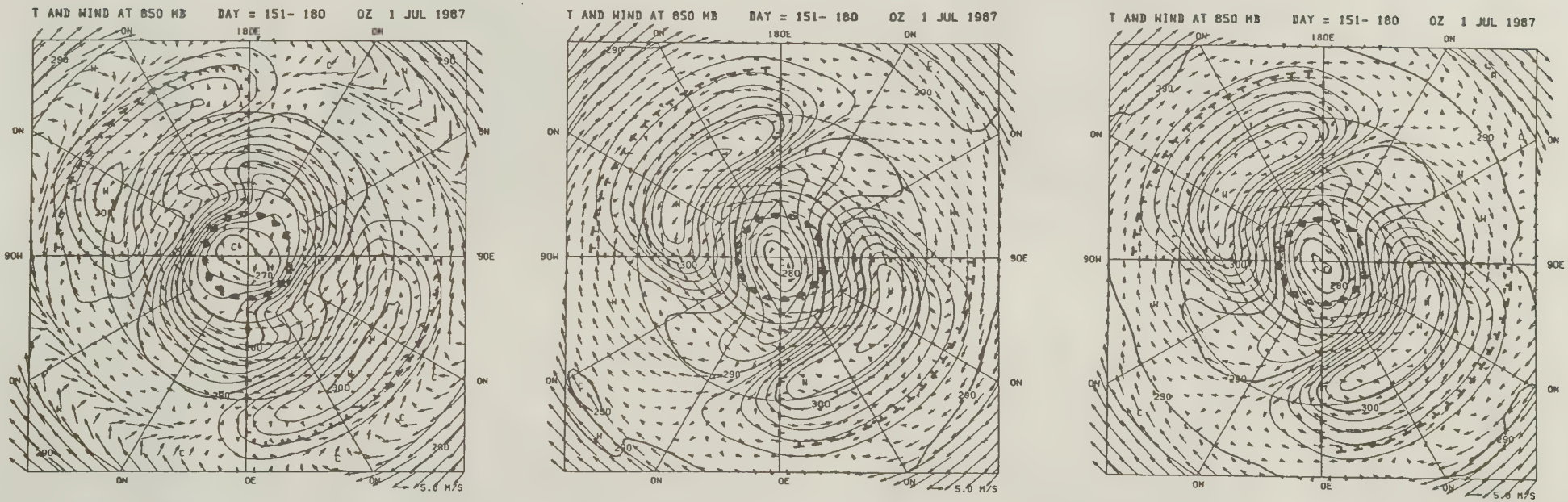

T AND WIND AT 850 MB DAY = 151- 180 OZ 1 JUL 1987
Zonally Averaged Diffusion and Drag Coefficients in PBL
T AND WIND AT 850 MB DAY = 151- 180 OZ 1 JUL 1987
Original Model
T AND WIND AT 850 MB DAY = 151- 180 OZ 1 JUL 1987
Zonally Averaged Diffusion Coefficients in PBL

図２．極氷と南北15度以内の熱帯海洋を除き東西波数２の海陸分布の低分解能モデルT21L12の積分151日目から180日目までの30日間で平均した850hPaでの気温（等値線）と風ベクトル（矢印）。等値線の間隔は２K。（中央）標準の物理過程を用いた実験（WV2EQOラン）、（右）境界層内の鉛直拡散係数を緯度毎に東西平均した実験、（左）境界層の鉛直拡散係数、抵抗係数を緯度毎に東西平均した実験。

Figure 2. 30-day mean 850hPa temperature and wind vector of the low resolution global model with land-sea distribution of zonal wave number 2 except for the polar ice sheets and the tropical ocean (15N-15S). The averaged period is from the 151-st day to the 180-th day of the integration. The contour interval is 2K. (Center) the control run (WV2EQO run), (Right) the run with zonal mean vertical diffusion coefficients in PBL, (Left) the run with zonal mean vertical diffusion and drag coefficients in PBL.

Mean and Variance of 850hPa Height

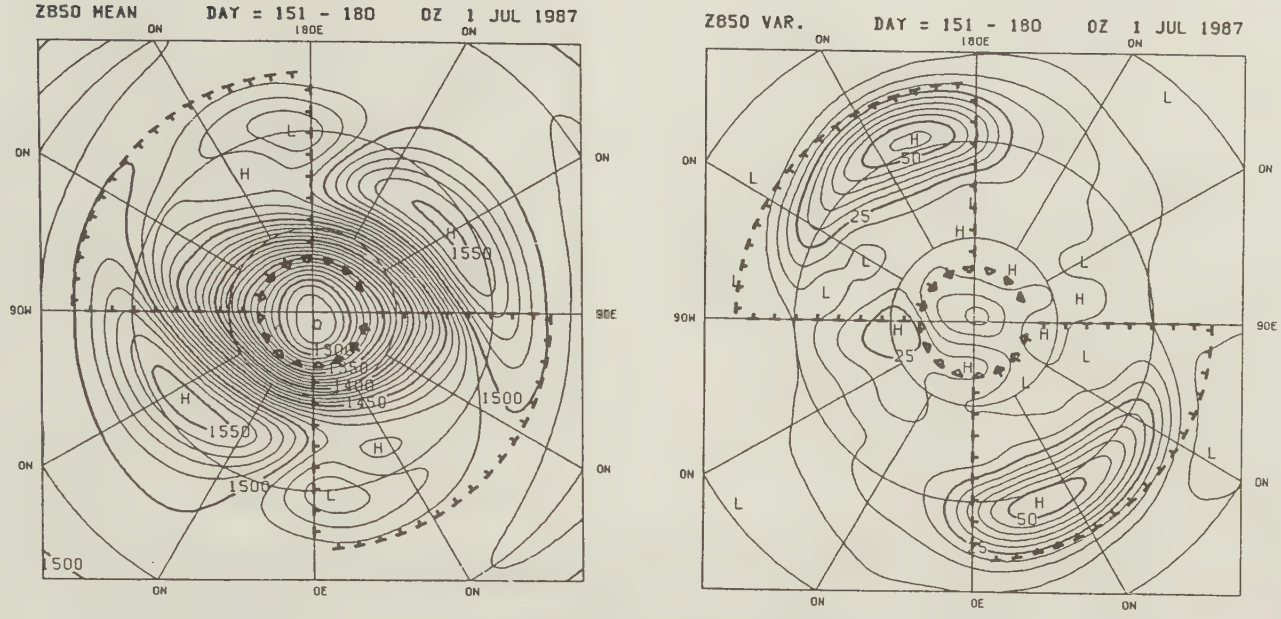

Z850 MEAN DAY = 151 - 180 0Z 1 JUL 1987
Z850 VAR. DAY = 151 - 180 0Z 1 JUL 1987
Original Model (WV2EQO RUN)
Z850 MEAN DAY = 151 - 180 0Z 1 JUL 1987
Z850 VAR. DAY = 151 - 180 0Z 1 JUL 1987
Aqua Planet (AQUA RUN)

図３．低分解能モデルT21L12の積分151～180日目の期間における30日平均850hPa高度及び850hPa高度の標準偏差分布。上段は極氷と南北15度以内の熱帯海洋を除き東西波数２の海陸分布のモデル（WV2EQOラン）、下段は極氷以外全面海洋の水惑星モデル（AQUAラン）。各々、左列は平均高度、右列は標準偏差。等値線の間隔は右上図が5m、その他は10m。

Figure 3. 30-day mean 850hPa geopotential height (Left column) and the standard deviation of the height (Right column) during the period (the 151-th to the 180-th day of the integration). The upper row shows those of WV2EQO run, while the lower row those of AQUA run. The contour interval of the upper right panel is 5m, and those of the others are 10m.

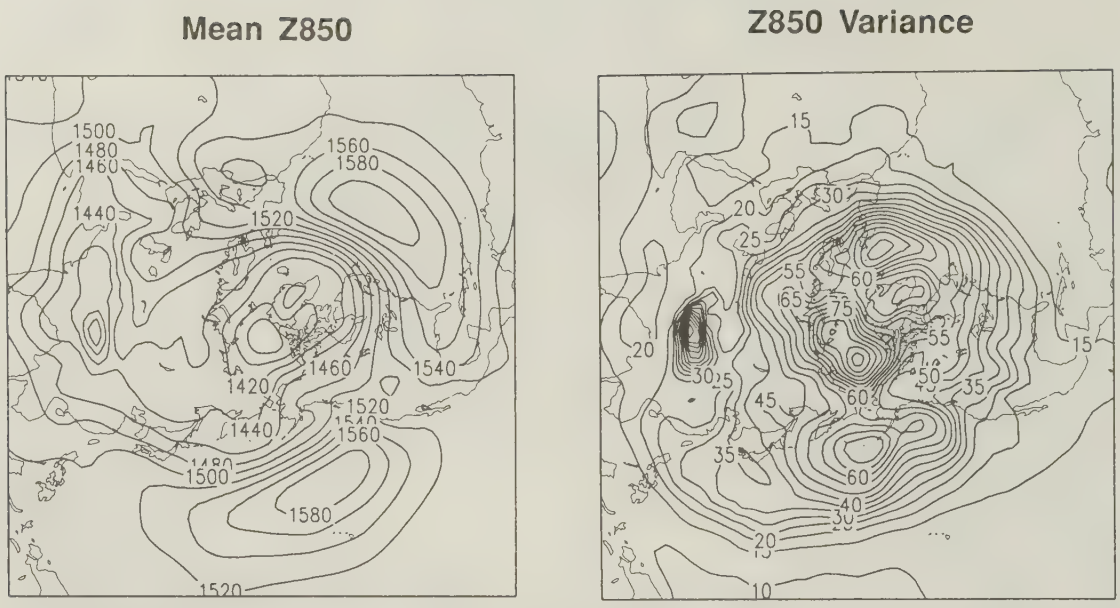


図４．気象庁数値予報課作成の全球解析データから求めた1984～1992年の７月の月平均850hPa高度（左図）と標準偏差（右図）。等値線の間隔は平均高度が20ｍ、標準偏差が10ｍ。

Figure 4. (Left) Monthly mean 850hPa height in July of 1984 to 1992 calculated from the global analysis data (GANAL) by JMA. (Right) the standard deviation of 850hPa height during the period. The contour interval of the former is 20m, and that of the latter is 10m.

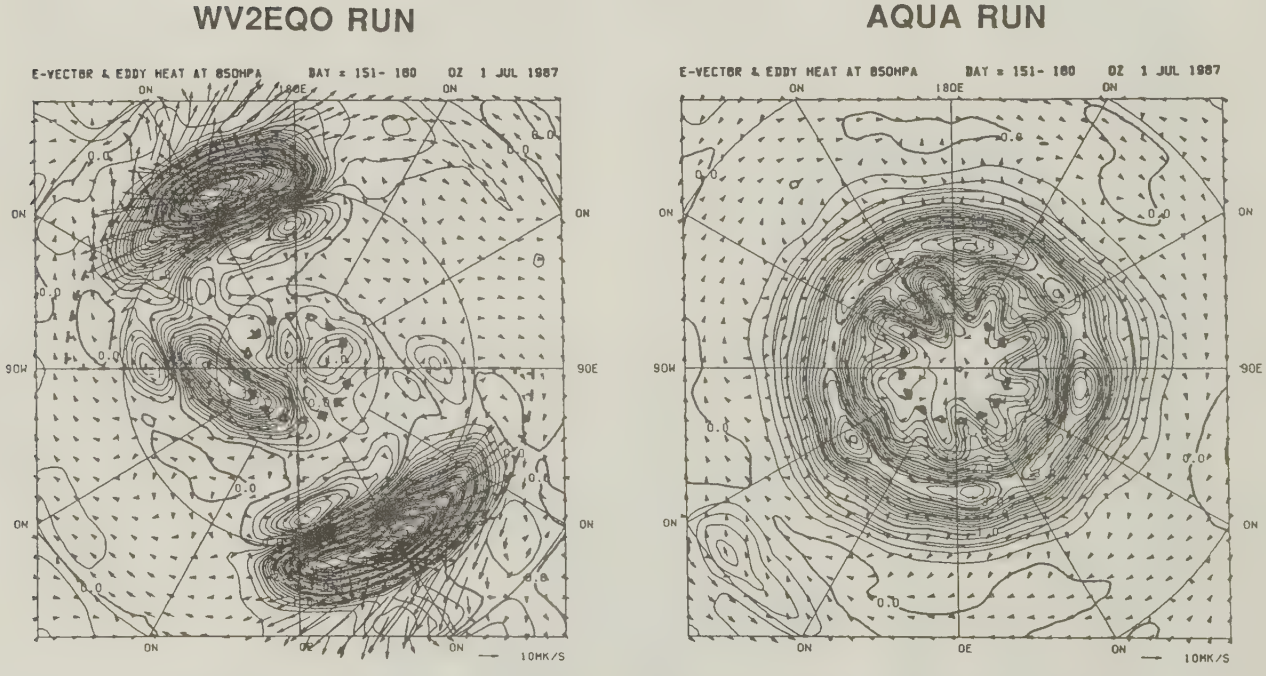


図５．低分解能モデルL21T12の積分151～180日目の30日間における850hPaのE-vector (<v'²-u'²>, <-u'v'>) とEddy Heat Flux (<v'T>)。（左図）WV2EQOラン、（右図）AQUAラン。E-vectorは矢印で、Eddy Heat Fluxは等値線（間隔は0.2mK/s）で表されている。

Figure 5. 30-day mean E-vector (<v'²-u'²>, <-u'v'>) and eddy heat flux (<v'T>) at 850hPa calculated from integrations (the 151-st to the 180-th day) of the low resolution model T21L12. The E-vector and the eddy heat flux are expressed by arrows and contour lines, respectively. The contour interval is 0.2mK/s. (Left) WV2EQO run, (Right) AQUA run.

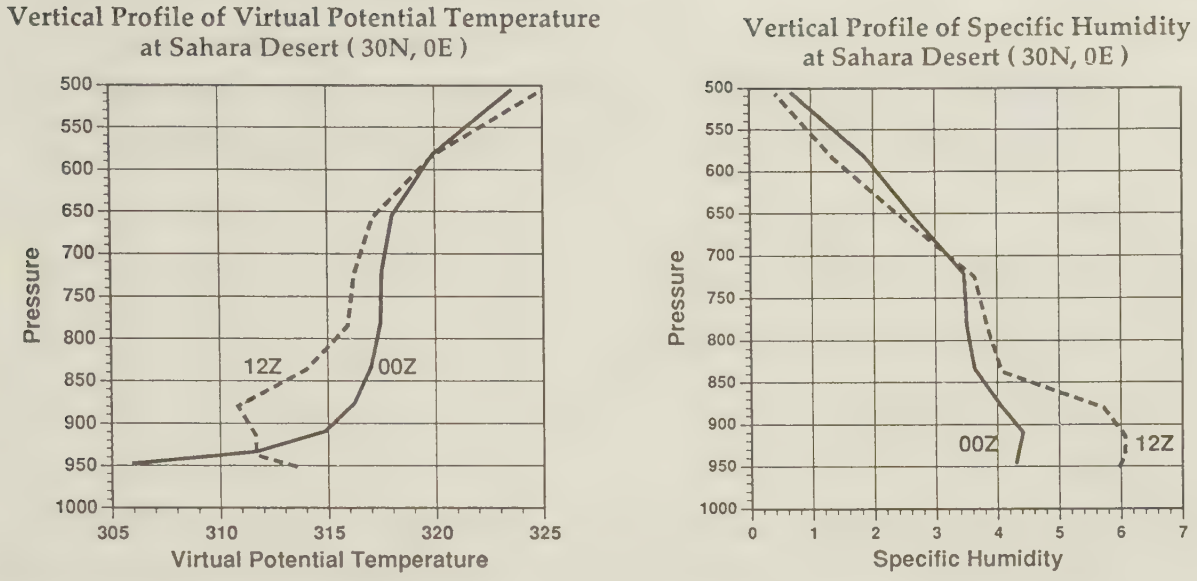


図６．全球スペクトルモデルT63L21で計算された７月１日00Zと12Zでのサハラ砂漠上の地点（北緯30度、東経０度）での仮温位（左図）と比湿（右図）の鉛直分布。実線は00Z、破線は12Zの状態を各々表す。仮温位の単位はK、比湿の単位はg/Kg。

Figure 6. Vertical profiles of virtual potential temperature and specific humidity over a point in Sahara desert (30N, 0E) on 00GMT (solid line) and 12GMT (dashed line) July 1, simulated by the global spectral model T63L21. (Left) virtual potential temperature; the unit is K. (Right) specific humidity, the unit is g/Kg.

図７．新たに開発した診断法によって計算された、全球スペクトルモデルT63L21のシミュレーション７月１日00Zでの、大気境界層の厚さ分布。点彩部は30hPa以下の部分、横線部は100hPa以上200hPa以下の部分、斜線部は200hPa以上の部分。

Figure 7. Horizontal distribution of PBL depth diagnosed by means the developed algorithm. The atmospheric data is a numerical simulation on 00GMT July 1 by the global spectral model T63L21. The areas in which the PBL depth depth is less than 30hPa, between 100hPa and 200hPa, greater than 200hPa are displayed with dot pattern, horizontal shade, slant shade, respectively.

2．数値モデルによる実験的研究

Theoretical/Experimental Study by Numerical Simulations

（３）大規模モデルによる大気・海洋・陸面間の相互作用に関する実験的研究

Numerical Study on Air-Sea-Land Interactions in a Monsoon by GCM

気象庁気象研究所
鬼頭　昭雄、時岡　達志
Meteorological Research Institute,
Japan Meteorological Agency
A. Kitoh, T. Tokioka

(Abstract) The purposes of the present study are to clarify the mechanism of air-sea-land interactions in an Asian monsoon region including the Pacific and the Indian Oceans and the Eurasian continent by performing a series of numerical experiments. For these purposes we use an atmospheric general circulation model (GCM) which includes interactive land surface processes (in the first phase of the program) and an ocean-atmosphere coupled GCM (in the second phase).

In this year, relationship between the spring Eurasian snow and the South Asian summer monsoon is investigated with a 24-year run with the observed sea surface temperature (SST) for the period 1970-1993 (the observed SST run) and a 20-year run with the climatological SST (the climatological SST run).

The snow mass over the Tibetan plateau region (60°-110°E, 20°-48°N) reaches its peak value in March and then rapidly decreases. It shows a large interannual variability in the climatological SST run. The variability is largest in April. The dashed line in Fig. 1 shows the simulated Tibetan snow mass anomaly in spring (March-May). The solid line denotes the zonal wind anomaly at 850 hPa over the Arabian Sea in the following summer (June-August). They are negatively correlated. Figure 2 shows the lag-correlations between the Tibetan snow mass in spring and the 200 hPa streamfunction in the following summer. The Tibetan anticyclone in the upper troposphere tends to be weaker than normal in the summer after the spring with heavier Tibetan snow. Concurrently with a weak Tibetan high, the tropical easterly jet in the upper troposphere and the monsoon surface westerly in the Arabian Sea are weak.

A similar snow-monsoon relationship is found in the observed SST run. As shown in Fig. 3, the Tibetan anticyclone is weak in the summer after the spring with heavy snow. Over the Tibetan plateau, the ground is wetter, the sensible heat flux is less, the evaporation is larger and the surface temperature is colder than the normal after heavier

spring Tibetan snow. Compared with the climatological SST run, the correlation pattern is shifted to the east with the easterly surface monsoon flow anomaly over the Bay of Bengal and the South China Sea. Figure 4 shows the lag-correlations between the Tibetan snow mass in spring and the 500 hPa height in the preceding winter. There is a wavetrain from Europe to South Asia with a trough in western Tibet. This trough is responsible in producing heavier snow fall there.

Kitoh (1992) investigated the interannual variability of monsoons simulated in the observed SST run with respect to the SST variation and compared it with the observation. He showed that the negative SST anomalies in the western Pacific are favorable to the weakened South Asian summer monsoon circulation with weak surface westerlies over the north Indian Ocean. This weak monsoon is found to be preceded by heavy Tibetan snow in spring. Considering that the SST anomalies are given in the observed SST run, this implies a possibility that circulation changes leading to Tibetan snow variability are regulated by specified evolving global SST anomalies. Thus the snow-monsoon relationship should be considered within a framework of the land-atmosphere-ocean interactions.

1．研究目的

アジアモンスーンは日本を始めとしたアジア諸国の気候形成に重要な寄与をしており、またその年々変動は、アジアモンスーン地域が地球規模の熱源の最大のものであることから、当該地域のみならず世界的規模の変動と関連する。さらに積雪等の陸面諸過程やインド洋・西部熱帯太平洋の海洋との相互作用の解明が必要である。そのために本研究では大気・海洋・陸面間の相互作用を表現しうる大規模モデルを用いてアジアモンスーンの維持・変動の機構について研究する。

2．研究方法

前期5年間では、アジアモンスーンの維持・長周期変動に対する大気の内部変動や海面水温(SST)・陸面状態の変化の役割を明らかにするために、気候値及び年々変化するSSTを与えて大気大循環モデルを長期間積分し、境界条件としてのSSTの評価を行う。実測SSTを与えるランにおいては最近の20数年間の各年各月の月平均SSTを日別値に内挿して境界条件とする。後期の5年間においては大気海洋結合モデルを導入し、アジアモンスーンの維持及びその変動に対するインド洋や熱帯太平洋等の海洋との相互作用、チベット高原を含むユーラシア大陸上の積雪等の陸面諸過程と大気・海洋の相互作用の機構の解明を目指す。

3．研究成果

ヒマラヤ／ユーラシア大陸の冬～春の積雪と夏のインドモンスーンの関係について従来から指摘されている。モンスーンの年々変動を考える際にこの問題は重要である。雪のアノマリーを冬～春に与えてその後の夏の循環への影響を見るアノマリー実験ではこの関係は確認されているが、モデル中の自然の年々変動の中ではどうなのかについては議論がある。そこで気候値のSSTを使った20年ラン(気候値SSTラン)、全球実測SSTを使った24年ラン(全球SSTラン)の結果から、この関係がモデル中の年々変動の中に現われているかどうかを調べた。

SSTに年々変動がなくともモデル内部の積雪はかなりの年々変動をする。チベット高原を広く含む領域(60-110E, 20-48N)では積雪量は2-3月に最大となるが、変動は3-4月に大きい。年々変動成分の相関解析から、春(3-5月)にチベット高原域の積雪量が多い年の夏のアジアモンスーンは弱くなる傾向があることが分かった。図１は気候値SSTランにおけるチベット高原域の春の積雪量とその後の夏のアラビア海上の850hPa東西風の年々変化であるが、両者が逆相関にあることが分かる。図２はチベット高原域の春の積雪量と夏の200hPa流線関数とのラグ相関である。多雪後の夏のチベット高気圧の弱まりがシミュレートされている。この時アラビア海上の下層西風は弱く、上層東風も弱い。

SSTを実測どおり年々変動させた場合はどうだろうか。この場合にも同様の関係が見いだされた。図３は全球SSTランの結果であるがやはり多雪後の夏のチベット高気圧は全般に弱くなることを示している。ただし多雪→弱いモンスーンの関係は気候値SST実験の場合ほど有意性は高くなく、パターンは全体に東にずれている。この時850hPaではベンガル湾から南シナ海にかけての西風モンスーン流が弱くなっている。

一方Kitoh(1992)は、夏の弱い(強い)南アジアモンスーンは平年より低い(高い)西部熱帯太平洋SSTによることを示している。ちなみにラグ相関を逆に冬に遡ると(図４)、チベット高原域の積雪変動は該当領域の西部にトラフが来る位相でヨーロッパから南アジアにかけての波列と対応していることがわかる。春のチベット高原域の多雪(寡雪)は夏の弱い(強い)南アジアモンスーンに先行しているが、夏のモンスーンの強弱とSSTとに有意な相関があることを考えると、チベット高原域の積雪変動をもたらしている大気循環の変動は、全球SSTの時間的変動により規定されている可能性がある。

4．考察

春の積雪と夏のモンスーンの関係がモデルの長期積分結果から得られたが、一方夏季モンスーンは西部熱帯太平洋海面水温と正相関があることが前年度までの研究から明かとなっている。積雪が海面水温変動に影響するかどうかが今後の研究のテーマともなるので、大気海洋結合モデルを本課題に導入し、地球

気候システムの中でのモンスーンという捉え方をしていく。またこれまでのすべての実験において、陸面では土壌水分・積雪をモデルで予報していることによる大気—陸面相互作用が含まれていた。この陸面過程の年々変動とモンスーン循環の変動を分離して調べる実験を早急に行なう必要がある。

5．引用文献

Kitoh, A., 1992: Simulated interannual variations of the Indo-Australian monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 563-583.

6．成果の発表

②学協会誌以外における発表

1)国内誌

発表者名	発表題名	発表誌名	備考
鬼頭昭雄	熱帯海面水温変動と北半球の夏の循環	平成５年度全国長期予報検討会資料	

2)海外誌

発表者名	発表題名	発表誌名	備考
A.Kitoh	Atmospheric GCM experiments on Tibetan snow and monsoon	CAS/JSC WGNE	

③口頭発表

発表者名	発表題名	発表場所	発表日	備考
A.Kitoh	AMIP integrations with the 5L and 15L versions of MRIGCM	AMIP/FANGIO meeting	1993年5月	
鬼頭昭雄	ＧＣＭ中の熱帯降水量の日変化について	日本気象学会	1993年5月	
A.Kitoh	Simulated interannual variability of monsoons: Impact of SST variations	IAMAP-IAHS'93	1993年7月	
鬼頭昭雄	熱帯海面水温と北半球の夏の循環–数値実験から（続）	日本気象学会	1993年10月	
A.Kitoh	Recent warming of the Indian Ocean SST: A study of its impact on the atmosphere with an AGCM	Sixth Conference on Climate Variations	1994年1月	

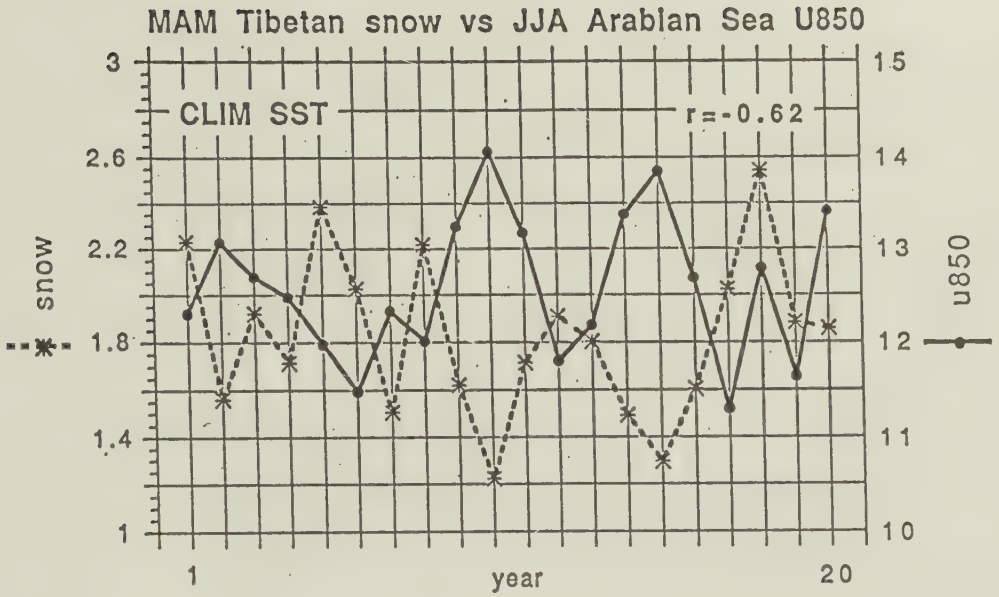


図1　気候値SSTランのチベット高原域の春の積雪量(破線)とその後の夏のアラビア海上の850hPa東西風(実線).

Fig. 1 Dashed line: Spring (March-May) snow mass over the Tibetan plateau region in the climatological SST run. Solid line: Summer (June-August) zonal wind at 850 hPa over the Arabian Sea.

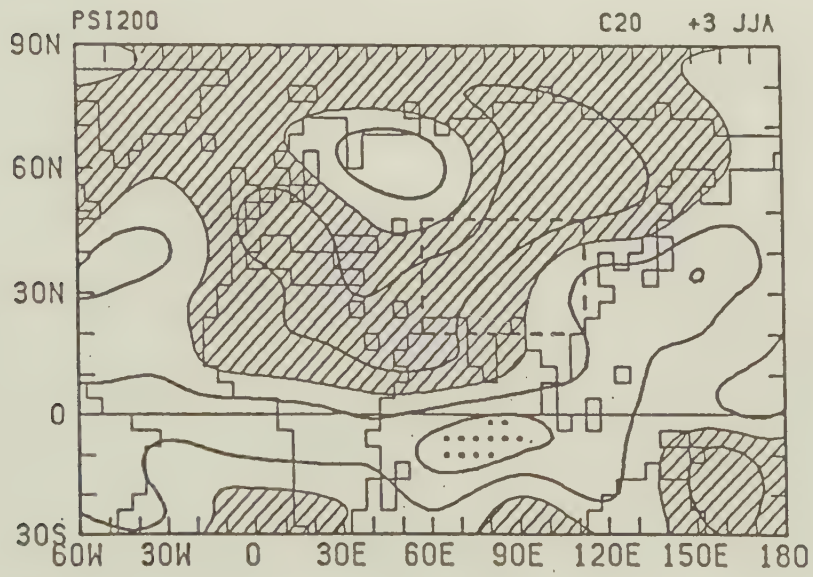


図2　気候値SSTランのチベット高原域の春の積雪量とその後の夏の200hPa流線関数との相関分布.

Fig. 2 Lag-correlations between the spring (March-May) snow mass over the Tibetan plateau region and the following summer (June-August) 200 hPa streamfunction in the climatological SST run. Anticlockwise circulation is shaded. Contour interval is 0.2. Grid points with significant correlations at 95 % level is dotted.

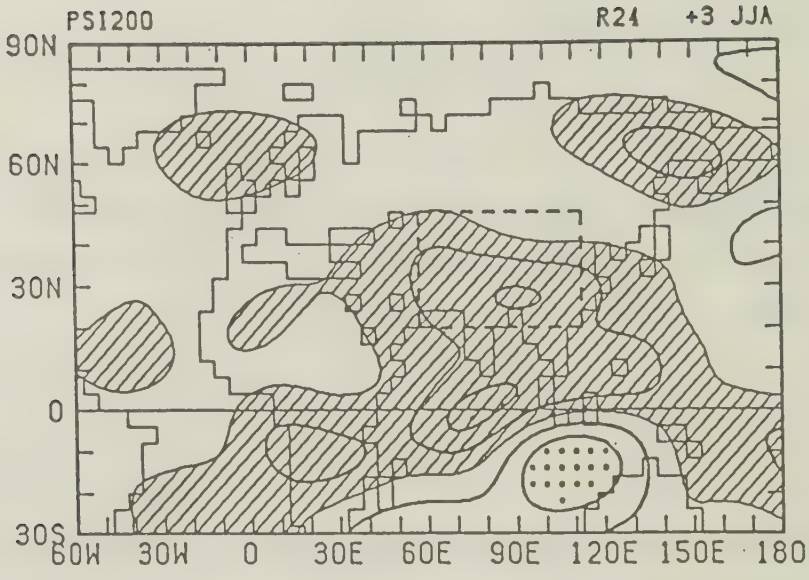


図3　図2と同じ、ただし全球SSTラン.

Fig. 3 As in Fig. 2 but for the observed SST run.

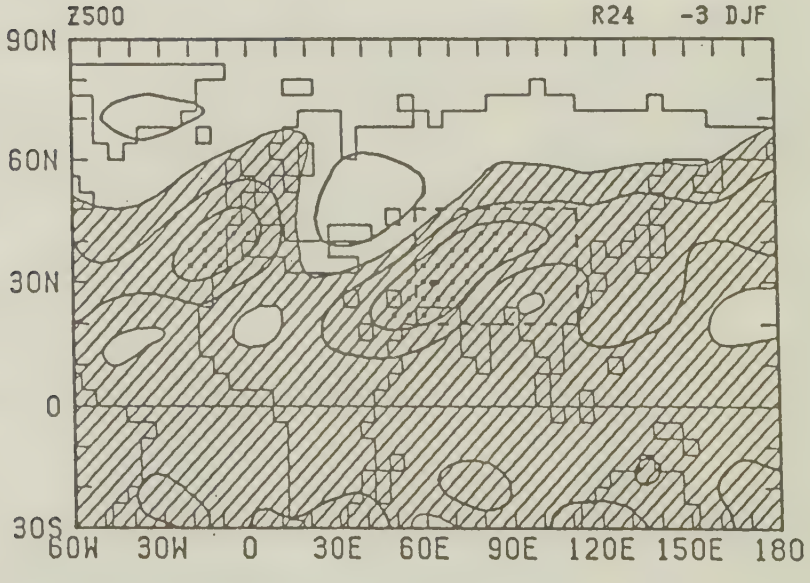


図4　全球SSTランのチベット高原域の春の積雪量とその前の冬の500hPa高度場との相関分布.

Fig. 4 Lag-correlations between the spring (March-May) snow mass over the Tibetan plateau region and the preceding winter (December-February) 500 hPa height in the observed SST run.

III．観測・解析研究ディレクトリー

Directory of
Obserbation／Analysis Data Set

Directory of Obserbation/Analysis Data Set

1. Directory Entry Title :
   Temperature/Depth data in the Indian Ocean.

2. Directory Entry Start and Stop Date
   Start Date : 1989-04-01
   Stop Date : 1992-12-31

3. Sensor Name
   CBT > Compact Bathythermograph, XBT > Expendable Bathythermograph

4. Source Name
   SOP > Ships of Opportunity

5. Investigator, Technical Contact, and Author
(1) Investigator
   Last name :
   First name :
   Email :
   Phone :
   Address :
(2) Technical Contact
   Last name :
   First name :
   Email :
   Phone :
   Address :
(3) Author
   Last name : Mizuno
   First name : Keisuke
   Email :
   Phone : 0543-34-0715
   Address : National Institute of Far Seas Fisheries
   5-7-1 Orido, Shimizu, 424 Japan

6. Data Center
(1) Data Center Name : JODC > Japan Oceanographic Data Center
(2) Dataset ID :
(3) Data Center Contact
   Last name :
   First name :
   Email :
   Phone : 03-3541-3811
   Address : Hydrographic Department, Maritime Safety Agency
   5-3-1, Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo 104

7. Originating Center

8. Campaign or Project

9. Storage Medium

10. Parameter Measured
Hydrologic Parameters > Temperature

11. Discipline Keywords
Earth Science > Ocean

12. Coverage
Minimum Latitude : 30S
Maximum Latitude : 10N
Minimum Longitude : 40E
Maximum Longitude : 120E

13. Location Keywords
Indian Ocean > Tropical Indian Ocean

14. General Keywords
Asian Monsoon

15. Revision Date
1993-04-01

16. Science Review Date
1993-04-01

17. Future Review Date
1995-04-01

18. References
Annual Report of JEXAM (April 1993 - March 1994),
Research and Development Bureau Science and Technology Agency Japan, 176pp, 1991.

19. Summary
National Research Institude of Far Seas Fisheries have participated in JEXAM programme, and has deployed observation network of subsurface temperature in the Indian Ocean by voluntary ships using compact-BT and XBT. Maximun depth of mesurement depends on a ship but mostly extends up to 400-500m. Each 10m temperature is reported for an individual observation. Location, time, and temperature data are quality controled. The data are to be sent to JODC annually.

1. Directory Entry Title : JEXAM Drifting Buoy Data in the tropical Indian Ocean

2. Directory Entry Start and Stop Date
   Start Date : 1990-02-02
   Stop Date :

3. Sensor Name : Surface Drifter with SST Sensor

4. Source Name : ARGOS

5. Investigator, Technical Contact and Author
(1) Investigator
   Last Name : Yutaka
   First Name : Michida
   Email : Telemail > [T.MORI/Omnet]
   Phone : +81-3-3541-3811 FAX : +81-3-3545-2885
   Address : 5-3-1 Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo 104 Japan
(2) Technical Contact
   Last Name : Yutaka
   First Name : Michida
   Email : Telemail > [T.MORI/Omnet]
   Phone : +81-3-3541-3811 FAX : +81-3-3545-2885
   Address : 5-3-1 Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo 104 Japan
(3) Author
   Last Name : Yutaka
   First Name : Michida
   Email : Telemail > [T.MORI/Omnet]
   Phone : +81-3-3541-3811 FAX : +81-3-3545-2885
   Address : 5-3-1 Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo 104 Japan

6. Data Center
(1) Data Center Name : Japan Oceanographic Data Center (JODC)
(2) Dataset ID :
(3) Data Center Contact
   Last Name : Yoshio
   First Name : Kubo
   Email : Telemail > [T.MORI/Omnet]
   Phone : +81-3-3541-3811 FAX : +81-3-3545-2885
   Address : 5-3-1 Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo 104 Japan

7. Originating Center

8. Campaign or Project
   Project : Japanese Experiment on Asian Monsoon (JEXAM)

9. Storage Medium : Magnetic Tape, 4 Mbytes

10. Parameter Measured : Locations of Drifters, SST

11. Discipline Keywords
Earth Science > Tropical Indian Ocean > Oceanic Currents

12. Coverage
Minimum Latitude : 33 S
Maximum Latitude : 6 S
Minimum Longitude : 38 E
Maximum Longitude : 135 E

13. Location Keywords
Indian Ocean > Tropical Region

14. General Keywords
Heat Transport

15. Revision Date
1994-04-30

16. Science Review Date

17. Future Review Date

18. References

19. Summary

1. Directory Entry Title: Lower Atmosphere Observation by Wind Profiling Radar

2. Directory Entry Start and Stop Date

Start Date: 1992-11-24

Stop Date: Measurements are continued

3. Sensor Name: Wind profiler and Wind profiler/RASS

4. Source Name: Atmospheric Turbulence and Acoustic Wave

5. Investigator, Technical Contact, and Author

(1) Investigator

(Last Name) (First Name) (Middle Name)

Name: Yuji Ohsaki

Email: ohsaki@crl.go.jp

Phone: +81-98-895-2045

Address: 829-3, Daigusukubaru, Aza-Kuba, Nakagusuku-son, Nakagami-gun, Okinawa 901-24, Japan

(2) Technical Contact

(Last Name) (First Name) (Middle Name)

Name: Yuji Ohsaki

Email: ohsaki@crl.go.jp

Phone: +81-98-895-2045

Address: 829-3, Daigusukubaru, Aza-Kuba, Nakagusuku-son, Nakagami-gun, Okinawa 901-24, Japan

(3) Author

(Last Name) (First Name) (Middle Name)

Name: Yuji Ohsaki

Email: ohsaki@crl.go.jp

Phone: +81-98-895-2045

Address: 829-3, Daigusukubaru, Aza-Kuba, Nakagusuku-son, Nakagami-gun, Okinawa 901-24, Japan

6. Data Center

(1) Data Center Name: CRL (Communications Research Laboratory)

(2) Dataset ID:

(3) Data Center Contact:

(Last Name) (First Name) (Middle Name)

Name: Yuji Ohsaki

Email: ohsaki@crl.go.jp

Phone: +81-98-895-2045

Address: 829-3, Daigusukubaru, Aza-Kuba, Nakagusuku-son, Nakagami-gun,
Okinawa 901-24, Japan

7. Originating Center:

8. Campaign or Project: JEXAM (Japanese Experiment on Asia Monsoon)

9. Storage Medium: DOS Formatted 5 inch Magneto Optical Disk

10. Parameter Measured: Backscattered Signals from Atmospheric Turbulence and Acoustic Wave

11. Discipline Keywords: Radar Remote Sensing of Atmosphere

12. Coverage

Minimum Latitude: 26° 16.9′N

Maximum Latitude:

Minimum Longitude: 127° 48.4′E

Maximum Longitude:

13. Location Keywords:

14. General Keywords:

15. Revision Date:

16. Science Review Date:

17. Future Review Date:

18. Reference

19. Summary

1. Directory Entry Title :
NOAA GAC

2. Directory Entry Start and Stop Date
Start Date : 1991-05-01
Stop Date : 1991-08-31

3. Sensor Name
AVHRR > Advanced Very High Resolution Radiometer

4. Source Name
NOAA-11

5. Investigator, Technical Contact, and Author
(1) Investigator
Last name : Inoue
First name : Toshiro
Email :
Phone : +81-298-53-8669
Address : M.R.I., 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan
(2) Technical Contact
Last name :
First name :
Email :
Phone :
Address :
(3) Author
Last name :
First name :
Email :
Phone :
Address :

6. Data Center
(1) Data Center Name : M R I >Meteorological Research Institute
(2) Dataset ID :
(3) Data Center Contact
Last Name :
First Name :
Email :
Phone :
Address :

7. Originating Center

8. Campaign or Project
J E X A M > Japanese Experiment on Asian Monsoon

9. Storage Medium
40 MTs, 4 G Bytes

10. Parameter Measured
Radiance

11. Discipline Keywords
Earth Science

12. Coverage
Minimum Latitude: 40°S
Maximum Latitude: 40°N
Minimum Longitude: 40°E
Minimum Longitude: 140°E

13. Location Keywords
Indian Ocean, South Asia

14. General Keywords

15. Revision Date

16. Science Review Date

17. Future Review Date

18. References

19. Summary
This data sets contain five channel data in visible and infrared region of AVHRR.

1.Direcrory Entry Title: Daily rainfall in India

2.Directory Entry Start and Stop Date
Start Date: 1988-01-01
Stop Date : 1990-10-31

3.Sensor Name

4.Source Name

5.Investigator, Technical Contact, and Author
(1) Investigator

	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name :	Tanaka	Minoru	
Email :			
Phone :	0298-53-8667 Ext.520		
Address :	MRI 1-1 Nagamine Tsukubashi 305 JAPAN		

(2) Technical Contact

	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name :			
Email :			
Phone :			
Address :			

(3) Author

	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name :			
Email :			
Phone :			
Address :			

6.Data Center
(1) Data Center Name: MRI>Meteorological Research Institute
(2) Dataset ID:
(3) Data Center Contact

	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name :			
Email :			
Phone :			
Address :			

7.Originating Center

8.Campaign or Project J E X A M>Japanese Experiment on Asian Monsoon

9.Storage Medium	1 Floppy Disk
10.Parameter Measured	Atmospheric Dynamics>precipitation
11.Discipline Keywords	Earth Science > Atmosphere
12.Coverage Minimum Latitude : Maximum Latitude : Minimum Longitude: Maximum LOngitude:	8N 36N 70E 90E
13.Location keywords	
14.General Keywords	Precipitation
15.Revision Date	1994-03-25
16.Science Review Date	1994-03-25
17.Future Review Date	
18.References	

19.Summary

Daily rainfall data for 80 stations in India
Data not available,outside of J E X A M

J E X A M>Japanese Experiment on Asian Monsoon

全般の問い合せ先

〒１００　東京都千代田区霞ケ関２－２－１

科学技術庁研究開発局
総合研究課
地球科学技術推進室

Inquiries to:

Office of Earth Science & Technology,
Research and Development Bureau,
Science and Technology Agency,
2-2-1, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100
Japan